ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1901 г. ТОМЪ 2 No. 3

Perpetuum mobile

О. Д. Хвольсона [1]).

Термодинамика, въ самомъ обширномъ смыслѣ слова, есть ученіе объ энергіи и ея свойствахъ, хотя самое названіе „термодинамика", не соотвѣтствуя столь общему опредѣленію, указываетъ на нѣкоторое ограниченіе, на нѣкоторую спеціализацію общаго вопроса по отношенію къ одной изъ формъ энергіи, а именно—къ энергіи тепловой. Но наука опредѣляется не названіемъ, а содержаніемъ, и это послѣднее позволяетъ намъ безъ особой натяжки остановиться на вышеуказанномъ опредѣленіи термодинамики, какъ науки объ энергіи.

По разнообразію примѣненій и по глубинѣ основныхъ положеній, термодинамика въ настоящее время несомнѣнно представляетъ одинъ изъ важнѣйшихъ и интереснѣйшихъ отдѣловъ физики. Совершенно чуждая гипотезъ, она цѣликомъ построена на двухъ абсолютно достовѣрныхъ, хотя и добытыхъ эмпирически основаніяхъ, которыя получили названія — *перваго и второго начала.* Каждому изъ этихъ двухъ началъ могутъ быть даны весьма различныя формулировки, которыя выражаютъ истины, тѣсно между собою связанныя, иногда вытекающія одна, какъ слѣдствіе, изъ другой. На которой изъ формулировокъ мы остановимся — это отчасти зависитъ отъ того, какъ мы понимаемъ задачу термодинамики, а отчасти выборъ формулировки есть даже дѣло вкуса.

[1]) Статья эта—подъ названіемъ „Объ одной формулировкѣ двухъ началъ термодинамики" — была напечатана въ „Физико-математическомъ Ежегодникѣ" 1900 г.

Обратимся прежде всего къ первому началу и разсмотримъ слѣдующія три истины:

1. *Принципъ сохраненія энергіи*: энергія не уничтожается и не создается. Она можетъ переходить изъ одной формы въ другую; она тратится, когда производится работа, результатомъ которой непремѣнно вновь является энергія, эквивалентная той, которая была первоначально затрачена.

2. *Принципъ эквивалентности*: теплота эквивалентна работѣ.

3. *Perpetuum mobile невозможенъ*: нельзя придумать такого ряда манипуляцій съ однимъ или многими приборами, результатомъ котораго явилась бы нѣкоторая произведенная „изъ ничего" работа, то есть безъ затраты энергіи. Для отличія отъ perpetuum mobile второго рода, о которомъ будетъ сказано ниже, назовемъ приборъ или совокупность нѣсколькихъ приборовъ, дающихъ работу безъ затраты энергіи — perpetuum mobile перваго рода.

Эти три истины такъ тѣсно связаны между собою, что любую изъ нихъ можно принять за выраженіе перваго начала термодинамики. Обыкновенно указываютъ на принципъ эквивалентности, какъ на простѣйшую формулировку этого начала. Но вѣдь этотъ принципъ является лишь слѣдствіемъ, во-первыхъ, опредѣленія самаго термина „энергія", далѣе — принципа сохраненія энергіи и, наконецъ, включенія теплоты въ списокъ различныхъ формъ энергіи.

Perpetuum mobile невозможенъ, ибо результатомъ работы должна явиться какая-либо форма энергіи, которая не могла создаться изъ ничего. Итакъ, ясно, что указанныя три истины дѣйствительно очень тѣсно между собою связаны. Изъ нихъ третья явилась раньше всѣхъ остальныхъ; выдающимся мыслителямъ она давно казалась a priori очевидною.

Съ небольшою натяжкою мы можемъ этою третьею истиною формулировать первое начало термодинамики, какъ науки объ энергіи:

Начало первое: *Perpetuum mobile перваго рода невозможенъ.*

Является интересный вопросъ: почему эта истина давно сознавалась многими, какъ нѣчто очевидное, почти безсознательно принималась какъ аксіома, на которой можно основывать доказательства другихъ истинъ? Этотъ вопросъ находится въ тѣсной связи съ другимъ; почему находились и находятся люди, которые неустанно стремятся построить perpetuum mobile; которые

жертвуютъ всѣмъ — средствами, здоровьемъ, покоемъ, семействомъ, гоняясь за призракомъ, неуловимымъ, вѣчно отъ нихъ ускользающимъ? Отчего они, послѣ сотни разочарованій, съ новыми надеждами приступаютъ къ новымъ попыткамъ? Отчего достиженіе завѣтной цѣли, рѣшеніе великой проблемы представляется имъ превыше всѣхъ благъ земныхъ? отчего имъ грезится безсмертная слава и несмѣтное богатство, стекающіеся со всѣхъ сторонъ милліоны? отчего они, умирая въ нищетѣ, плачутъ не о безплодно потерянной жизни, не о погубленномъ счастьѣ дорогихъ и близкихъ, а лишь о томъ, что рѣшеніе задачи, которое казалось столь возможнымъ, недогонно ускользало, не даваясь въ руки; о томъ, что приходится умирать, когда наконецъ-то выяснился путь, очевидно и несомнѣнно ведущій къ сказочно-чудной цѣли, волшебную картину которой больное воображеніе черпаетъ изъ больного мозга, повторяя въ послѣдній разъ дивныя грезы неземного величія?

Одни принимаютъ невозможность достиженія цѣли за аксіому; другіе стремятся къ ней всѣми силами души и тѣла. Связь понятна! Вторые сознаютъ, что достиженіе цѣли приведетъ къ неземному счастью; а первые понимаютъ, что неземного счастья не можетъ быть на землѣ.

Если бы можно было построить perpetuum mobile, то можно было бы ихъ построить и милліоны; и всѣ они давали бы намъ даровую работу: даромъ работали бы всѣ фабрики, даромъ мы имѣли бы все, чѣмъ живетъ человѣчество. Былъ бы рай, былъ бы золотой вѣкъ, обновленный, перенесенный на новую почву, измѣненный соотвѣтственно требованіямъ современной культуры.

Не тотъ золотой вѣкъ, который рисовался древнимъ, какъ идеалъ, когда безъ заботы и безъ горя протекала жизнь, когда боги спускались къ людямъ и люди поднимались къ олимпійцамъ. Фантазія Данте могла бы нарисовать картину того другого золотого вѣка, который наступилъ, если бы „первое начало" оказалось невѣрнымъ, если бы можно было построить perpetuum mobile перваго рода и получать работу изъ ничего. Открыть человѣчеству дорогу къ этому новому раю — вотъ та задача, которая погубила и не перестаетъ губить тѣхъ, кто занимается ея рѣшеніемъ. Выдающимся мыслителямъ давно правильно рисовался этотъ рай, этотъ золотой вѣкъ, и они поняли, что его нѣтъ и быть не можетъ, что въ непроходимыя дебри и въ без-

донныя болота ведутъ тѣ дороги, по которымъ стараются пробраться искатели новаго золотого вѣка.

Однако, является вопросъ съ виду простой, но въ дѣйствительности—одинъ изъ труднѣйшихъ вопросовъ, надъ которыми задумывались великіе мыслители. Работа не можетъ быть получена изъ ничего; въ этомъ никто не можетъ и не долженъ сомнѣваться. Но развѣ наступленіе новаго золотого вѣка непремѣнно требуетъ, чтобы работа давалась изъ ничего? Развѣ въ этомъ истинная сущность дѣла? Очевидно, нѣтъ! Новый золотой вѣкъ наступитъ, если мы научимся получать работу *даромъ*, а такъ какъ мы знаемъ, что работа получается только насчетъ запаса энергіи какой-либо формы, то ясно, что весь вопросъ заключается въ отысканіи запасовъ *даровой энергіи*. Если на землѣ найдутся запасы даровой энергіи, то—такъ, по крайней мѣрѣ, кажется — на землѣ долженъ наступить новый золотой вѣкъ, должна, хотя инымъ путемъ, чѣмъ они думали, осуществиться мечта несчастныхъ жертвъ неразрѣшимой задачи построить perpetuum mobile перваго рода.

Итакъ, поищемъ на землѣ запасы даровой энергіи; если мы ихъ найдемъ, и если окажется, что ими можно воспользоваться, что ихъ можно затрачивать на производство работы, то и новый золотой вѣкъ сдѣлается возможнымъ.

Однако, прежде чѣмъ искать, мы должны выяснить, что значитъ „даровой". Даровымъ, по самому смыслу слова, является то, чему цѣна нуль. Но мы знаемъ, что цѣна чего бы то ни было зависитъ отъ спроса и отъ предложенія. Чѣмъ больше предложеніе при данномъ спросѣ, или чѣмъ меньше спросъ при данномъ предложеніи, тѣмъ меньше цѣна. Ясно, что цѣна только тогда можетъ равняться нулю, когда спросъ нуль, или когда предложеніе въ неизмѣримо огромное число разъ превышаетъ спросъ; выражаясь не точно, мы могли бы сказать — когда предложеніе безконечно велико. Примѣромъ можетъ служить *воздухъ*. Спросъ на него есть; онъ всѣмъ нуженъ, въ такой степени нуженъ, что въ случаѣ необходимости за него была бы заплачена всякая цѣна. Но предложеніе безконечно превышаетъ спросъ; воздухъ вездѣ и всегда имѣется въ изобиліи—и мы дышимъ даромъ. Вода уже не вездѣ и не всегда имѣется на лицо, въ особенности прѣсная; она даже рѣдко находится какъ разъ тамъ, гдѣ нужна: предложеніе не безконечно превышаетъ спросъ, а потому и цѣна воды вообще не нуль.

Обращаемся къ тѣмъ запасамъ энергіи, съ которыми мы встрѣчаемся на землѣ.

Каменный уголь, дерево, нефть содержатъ запасы химической энергіи. Цѣна не равна нулю, такъ какъ предложеніе мѣстами и временами еле покрываетъ спросъ. Кромѣ того, самый актъ добыванія не можетъ быть даровымъ.

Теченіе рѣкъ, водопады, морскія теченія и прибои, приливы и отливы являются носителями запасовъ энергіи, а именно энергіи движенія. Но и эти запасы лишь кажутся даровыми. Уже одно то обстоятельство, что ихъ залежи, если можно такъ выразиться, находятся не вездѣ, что они на сушѣ сосредоточены въ мѣстахъ весьма необширныхъ сравнительно со всею поверхностью суши, показываетъ, что ими опредѣляется предложеніе, ничтожное сравнительно со спросомъ.

Энергія вѣтра, повидимому, даровая; но ея непостоянство, ея полное отсутствіе мѣстами и временами не даютъ ей сдѣлаться источникомъ возникновенія новаго золотого вѣка, требующаго неограниченныхъ запасовъ даровой энергіи, которые вездѣ и всегда были бы къ услугамъ людей, удовлетворяя всякому спросу, какъ бы онъ ни былъ великъ.

Къ энергіи солнечныхъ лучей приложимо то самое, что сейчасъ было сказано объ энергіи вѣтра. Ея потоки прекращаются ночью, они прерываются всякимъ облачкомъ, и только развѣ въ тропическихъ странахъ они когда-нибудь сдѣлаются болѣе или менѣе *непосредственными* источниками работы.

Можетъ казаться, что мы исчерпали важнѣйшіе запасы энергіи на землѣ. Но это не такъ; мы упустили самый обширный запасъ энергіи, повидимому, даровой въ точномъ смыслѣ этого слова. Эта — тепловая энергія, проще — теплота, содержащаяся въ воздухѣ, въ земной корѣ и въ водѣ. Вѣдь эти запасы непостижимо громадны и вдобавокъ непрерывно возобновляются вслѣдствіе нагрѣванія солнцемъ, то-есть вслѣдствіе перехода энергіи солнечныхъ лучей въ энергію тепловую. Запасы этой энергіи находятся налицо вездѣ и всегда; они окружаютъ насъ со всѣхъ сторонъ. Теплота воздуха и земной коры—это, очевидно, *энергія даровая.* На берегу океановъ, морей, озеръ и рѣкъ мы имѣемъ тепловую энергію воды. Какую бы мы работу получили, охлаждая океаны хотя бы на небольшое число градусовъ!

Итакъ, даровые запасы энергіи нашлись! Отчего мы ими не пользуемся? Не настанетъ-ли время, когда научатся черпать изъ

этихъ неистощимыхъ запасовъ, которые всегда и вездѣ насъ окружаютъ?

Вообразимъ себѣ машину, которая бы работала на счетъ теплоты воздуха, воды или земли. Охладившіяся массы, въ особенности воздуха и воды, непрерывно бы удалялись, можетъ быть, сами собою, и давали бы мѣсто новымъ притекающимъ массамъ, которыя бы съ своей стороны отдавали часть тепловой энергіи, имъ присущей, для производства работы. Такой приборъ не нуждался бы въ притокѣ цѣнной энергіи; онъ питался бы тѣми безпредѣльными запасами даровой энергіи, которые его окружаютъ. Оставляя въ сторонѣ вопросъ о постепенной порчѣ частей прибора, о необходимости ихъ исправленія и замѣны, мы можемъ сказать, что этотъ приборъ двигался бы вѣчно, непрерывно производя работу, хотя и не изъ „ничего", но изъ чего-то такого, что для насъ не отличается отъ „ничего", ибо для насъ не важно, существуетъ-ли источникъ работы, а лишь—какова цѣна этого источника. Въ этомъ отношеніи отсутствіе всякого источника и источникъ даровой безразлично играютъ для насъ одинаковую роль. Приборъ, о которомъ сейчасъ было сказано, несомнѣнно также сулитъ намъ новый золотой вѣкъ; назовемъ его *perpetuum mobile второго рода*.

Даровые, неистощимые запасы энергіи насъ несомнѣнно окружаютъ; отчего же мы не построимъ этого прибора въ милліонахъ экземпляровъ? Кто намъ мѣшаетъ перенести новый золотой вѣкъ изъ царства грезъ въ реальную дѣйствительность?

Обратимся ко второму началу термодинамики, которому можетъ быть дано весьма большое число различныхъ формулировокъ. Еще въ началѣ двадцатыхъ годовъ истекающаго столѣтія Сади Карно замѣтилъ, что возможность полученія работы при помощи теплоты подвержена какому-то особому условію. Въ паровой машинѣ мы должны имѣть горячій котелъ и рядомъ охладитель пара, каковымъ могутъ служить внѣшній воздухъ или особый холодильникъ. Если бы температура холодильника равнялась температурѣ котла, то паровая машина не могла бы дѣйствовать. Паръ долженъ переносить теплоту отъ горячаго котла къ холодильнику. Считая въ то время теплоту за особое неразрушимое вещество, Карно полагалъ, что теплота *цѣликомъ* переносится отъ котла къ холодильнику, т. е. отъ тѣла болѣе высокой температуры къ тѣлу болѣе низкой температуры; и вотъ въ этомъ-то переходѣ Карно и видѣлъ условіе полученія работы.

Подобно тому, какъ вода можетъ дать работу только при условіи паденія съ болѣе высокаго уровня къ болѣе низкому, причемъ она количественно не мѣняется, такъ и теплота, по мнѣнію Карно, даетъ работу только въ томъ случаѣ, когда она падаетъ съ болѣе высокой температуры къ болѣе низкой, не мѣняясь при этомъ количественно. Въ „chute de la chaleur" онъ видѣлъ источникъ работы.

Клаузіусъ и В. Томсонъ (нынѣ лордъ Кельвинъ) почти одновременно (1850) измѣнили мысль, высказанную Карно, расширили ее и привели ее къ виду, согласному съ новыми взглядами на теплоту, какъ на форму энергіи, которая какъ теплота исчезаетъ, тратится при производствѣ на ея счетъ работы.

Данная Клаузіусомъ формулировка того, что нынѣ называютъ вторымъ началомъ, выяснится изъ слѣдующаго. Назовемъ переходъ тепла отъ одного тѣла къ другому, трату теплоты на работу, а также полученіе теплоты, какъ результата работы — общимъ терминомъ „*превращенія*". Оказывается, что всѣ превращенія раздѣляются на двѣ группы, которыя можно назвать положительными и отрицательными или, лучше, *естественными* и *неестественными*. Для объясненія разницы между этими двумя группами превращеній, положимъ, что съ нѣкоторою системою тѣлъ произошли какія-либо измѣненія или, какъ обыкновенно говорятъ, что тѣла подверглись какимъ-либо процессамъ. Естественное превращеніе имѣетъ то свойство, что оно можетъ являться *единственнымъ* результатомъ какихъ-либо процессовъ. Неестественное превращеніе ни при какихъ условіяхъ не можетъ представлять единственнаго результата какихъ бы то ни было процессовъ; если оно получилось, какъ результатъ процессовъ, то одновременно должно было произойти еще другое превращеніе, и притомъ непремѣнно естественное. Проще говоря: естественное превращеніе можетъ произойти отдѣльно, можетъ явиться „solo"; *неестественное превращеніе непремѣнно должно сопровождаться естественнымъ.*

Естественныя превращенія суть: 1) переходъ теплоты отъ болѣе теплаго тѣла къ болѣе холодному, 2) затрата работы для полученія теплоты. Неестественныя превращенія суть: 1) переходъ теплоты отъ болѣе холоднаго тѣла къ болѣе теплому, 2) затрата теплоты для полученія работы.

Всякому понятно, что приведенныя здѣсь два естественныхъ превращенія дѣйствительно могутъ явиться и постоянно

являются, какъ единственные результаты какихъ-либо физическихъ процессовъ: переходъ теплоты отъ болѣе теплаго къ болѣе холодному тѣлу наблюдается постоянно; появленіе теплоты, какъ результатъ произведенной работы, наблюдается при всякомъ ударѣ, при треніи, въ явленіяхъ электрическихъ и т. д.

Что же касается перехода (или искусственнаго переноса) теплоты отъ болѣе холоднаго къ болѣе теплому тѣлу и затраты теплоты для полученія работы, то, какъ сказано выше, второе начало учитъ, что ни то, ни другое изъ этихъ двухъ превращеній ни при какихъ условіяхъ не можетъ являться единственнымъ результатомъ какой бы то ни было комбинаціи произвольнаго числа разнообразныхъ физическихъ процессовъ; эти два превращенія могутъ происходить только въ сопровожденіи одного изъ естественныхъ превращеній. Итакъ, полученіе работы на счетъ какого-либо запаса теплоты возможно только, если одновременно получается теплота, какъ результатъ произведенной работы, или когда одновременно теплота переходитъ отъ болѣе холодному тѣлу. Но тратить теплоту на полученіе работы при одновременной затратѣ работы на полученіе работы теплоты, очевидно, безцѣльно, такъ какъ совокупность этихъ двухъ превращеній, какъ бы другъ друга уничтожающихъ, есть нуль.

Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ такой важнѣйшій результатъ: *теплота тогда только можетъ быть затрачена на полученіе работы, когда одновременно съ этою затратою происходитъ переходъ теплоты отъ болѣе теплаго тѣла къ болѣе холодному.*

Изъ этой истины вытекаетъ прежде всего, что затратить теплоту, чтобы получить работу, можно только, когда *налицо имѣются два тѣла, находящихся при различныхъ температурахъ.* Назовемъ болѣе теплое тѣло — нагрѣвателемъ, болѣе холодное — охладителемъ. Теплота, расходуемая на работу, берется отъ нагрѣвателя, такъ что у насъ является окончательно такая картина: имѣется тѣло теплое (или горячее) — нагрѣватель, и тѣло холодное—охладитель; отъ нагрѣвателя берется нѣкоторое количество теплоты Q; нѣкоторая его часть q тратится на полученіе работы, а остальная часть, $Q-q$, переносится отъ нагрѣвателя къ охладителю. Можно строго доказать, что чѣмъ больше разность температуръ нагрѣвателя и охладителя, тѣмъ больше полезно-затраченная часть q всей израсходованной теплоты Q. Имѣя налицо тѣла, температуры которыхъ почти одинаковы, мы получили бы ничтожнѣйшую „пользу“, если бы мы вздумали

пользоваться теплотою болѣе теплаго тѣла для полученія работы. Если передъ нами тѣла одинаковой температуры, то полученіе работы на счетъ теплоты одного изъ нихъ — невозможно. Chute de la chaleur великаго Карно дѣйствительно оказывается условіемъ полученія работы; онъ только ошибся, полагая, что *вся* теплота Q, взятая отъ болѣе теплаго тѣла, переходитъ къ болѣе холодному. Въ дѣйствительности переходитъ лишь часть $Q—q$, а остальная часть тратится, т.-е. исчезаетъ, какъ теплота, и переходитъ въ другія формы энергіи.

Возвратимся теперь къ нашему perpetuum mobile второго рода, къ прибору, который непрерывно производитъ работу на счетъ тѣхъ несмѣтныхъ запасовъ тепловой энергіи, которые заключаются въ воздухѣ, въ водѣ и въ землѣ. Возможенъ-ли такой приборъ? Изъ вышеизложеннаго явствуетъ, что онъ невозможенъ. Тепловая энергія воздуха, воды или земной коры тогда только могла бы служитъ источникомъ работы, если бы мы рядомъ имѣли „холодильникъ", въ который непрерывно могла бы переходить часть той теплоты, которая черпается изъ нашихъ „нагрѣвателей"; вдобавокъ желательно, чтобы разность температуръ нагрѣвателя и холодильника была повозможности больше. Среднія температуры нижняго слоя воздуха и верхнихъ слоевъ воды и суши приблизительно одинаковы, и у насъ нѣтъ подъ рукою того охладителя, безъ котораго теплота нагрѣвателя не можетъ быть полезно затрачена.

Съ небольшою натяжкою мы можемъ теперь формулировать второе начало такъ:

Начало второе: *Perpetuum mobile второго рода невозможенъ.*

Итакъ, *два начала термодинамики учатъ насъ, что невозможнъі ни perpetuum mobile перваго, ни perpetuum mobile второго рода.*

Тотъ и другой сулили намъ новый золотой вѣкъ, волшебная картина котораго, вѣроятно, еще никѣмъ не была обдумана во всѣхъ деталяхъ. Соединяя оба начала, мы можемъ сказать: *два начала термодинамики учатъ насъ, что новый золотой вѣкъ невозможенъ.*

И это хорошо.

Спб. 26 дек. 1898.

Температура солнца

Ш. Гильома [1]).

До самаго послѣдняго времени вопросъ о температурѣ солнца оставался въ сущности безъ отвѣта; соотвѣтствующія указанія астрономовъ крайне неточны; если случайно въ ихъ трудахъ приводятся нѣкоторыя цифры, то онѣ столь различны, что предѣлы, между которыми онѣ колеблются, служатъ какъ бы признаніемъ полнаго невѣдѣнія. Такъ въ своемъ прекрасномъ трудѣ „Le Problème solaire" Морё свидѣтельствуетъ, что Викеръ оцѣниваетъ температуру солнца въ 1400°, а Секки—въ 5000000°.

Впрочемъ было бы несправедливо дѣлать авторовъ астрономическихъ трактатовъ отвѣтственными за то, что они сохраняютъ столь разнорѣчивыя цифры. Почти всѣ оцѣнки температуры солнца дѣлались физиками на основаніи опытныхъ фактовъ и законовъ, заключающихъ по крайней мѣрѣ долю истины. Такимъ образомъ физики должны сговориться и представить астрономамъ лишь такіе результаты, для установленія коихъ они воспользовались бы всѣми средствами, которыя имъ даетъ новѣйшее изученіе всѣхъ явленій, могущихъ служить для рѣшенія этой задачи.

Начнемъ съ ограниченія задачи и условимся не заниматься тѣмъ, что происходитъ въ глубинахъ нашего дневного свѣтила; удовольствуемся опредѣленіемъ средней температуры непосредственно видимыхъ поверхностныхъ слоевъ солнца.

Прежде всего нельзя-ли, не прибѣгая съ строго научнымъ соображеніямъ, сблизить предѣлы указанныхъ чиселъ? Можно попробовать. Замѣтимъ, что температура въ пять милліоновъ градусовъ не имѣетъ для насъ никакого физическаго смысла; такая оцѣнка равносильна слѣдующей: температура солнца настолько

---

[1]) Переводъ съ французскаго: Les lois du rayonnement et la température du soleil par *Ch. Ed. Guillaume*.

выше температуры всѣхъ земныхъ источниковъ, что мы о ней не можемъ составить никакого понятія. Но то же самое можно сказать и о температурахъ, выраженныхъ милліономъ или сотнею тысячъ градусовъ. Указаніе Секки можно было бы формулировать такъ: „температура солнца, повидимому, выше 100000°". Обратимся къ низшему предѣлу, указанному Викеромъ. Тутъ мы въ области знакомыхъ намъ температуръ, которыя ежедневно существуютъ на заводахъ и въ лабораторіяхъ.

Віолевскій эталонъ свѣта, даваемый квадратнымъ центиметромъ платины при температурѣ своего отвердѣванія, соотвѣтствуетъ 20 свѣчамъ; съ разстоянія 1 m. эта поверхность представляется въ полтора раза больше кажущейся величины солнца; но яркость солнечнаго свѣта одного порядка съ яркостью 60000 свѣчъ въ разстояніи 1 m.; слѣд. при равныхъ кажущихся величинахъ яркость солнца въ 4000 разъ больше яркости поверхности платины при температурѣ ея отвердѣванія, т. е. при 1775°.

Впрочемъ мы знаемъ очень мало изъ того, что касается связи между температурою и яркостью раскаленной поверхности; но несомнѣнно одно, что яркость *возрастаетъ* вмѣстѣ съ температурою. Одного этого достаточно, чтобы утверждать, что температура солнца выше 1775°. Мы не ошибемся даже, утверждая, что температура солнца *гораздо выше* 2000°.

Мы значительно повысили нашъ нижній предѣлъ; но было бы неосторожно болѣе точную оцѣнку основывать на зрительномъ впечатлѣніи. Глазъ нашъ—случайность въ природѣ; его область ограничена небольшою частью спектра, уже изслѣдованною другими средствами; къ тому же опыты показали, что математическая функція, связывающая свѣтовое ощущеніе съ температурою источника, должна быть очень сложна. При температурахъ источника ниже 360° зрительное ощущеніе равно нулю. При этой температурѣ глазъ начинаетъ замѣчать сѣроватый свѣтъ, который то появляется, то исчезаетъ и который нельзя фиксировать; это первый признакъ разложенія зрительнаго пурпура [1]). Когда ис-

---

[1]) Открытое Веберомъ, это явленіе—по объясненію Криса—чисто физіологическое: въ нашемъ глазѣ существуетъ два свѣточувствительныхъ элемента — палочки и колбочки; первые болѣе чувствительны къ свѣту, но совершенно нечувствительны къ цвѣтамъ; колбочки чувствительны къ цвѣтамъ; въ желтомъ пятнѣ много колбочекъ и мало палочекъ; первое впечатлѣніе свѣта (безцвѣтное) получается палочками на периферіи сѣтчатки; когда хотимъ фиксировать это впечатлѣніе, то переносимъ его на желтое пятно, при чемъ оно исчезаетъ.

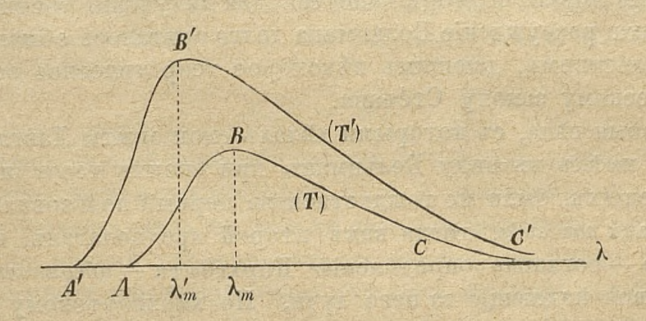
точникъ, непрерывно нагрѣваясь, достигаетъ 500°, мы замѣчаемъ первые слѣды краснаго свѣта; послѣ того яркость усиливается, проходя чрезъ всѣ оттѣнки отъ краснаго до ослѣпительнаго бѣлаго; слѣдовательно наша функція начинается нулемъ и достигаетъ конечнаго значенія, т. е. увеличивается въ безконечно-большомъ отношеніи на промежуткѣ нѣсколькихъ градусовъ; затѣмъ подъемъ очень крутъ и, становясь все круче по абсолютному значенію, онъ дѣлается менѣе крутымъ относительно.

Въ крайности при помощи этой функціи можно интерполировать, т. е. неизвѣстную температуру помѣстить между извѣстными сосѣдними температурами, которыми обладаютъ тѣла, наблюдаемыя одновременно съ тѣмъ тѣломъ, яркость коего служитъ для опредѣленія температуры. Но экстраполированіе, т. е. вычисленіе температуры по извѣстной гораздо болѣе низкой температурѣ, можетъ повести къ значительнымъ ошибкамъ; это потому, что законъ, который, конечно, можно представить простою функціею, пока дѣло идетъ о маломъ интервалѣ, становится страшно сложнымъ въ случаѣ значительнаго интервала температуръ.

Къ рѣшенію задачи надо подойти съ другой стороны. Напередъ можно быть увѣреннымъ, что есть надежда найти гораздо болѣе простыя функціи, если зрительное впечатлѣніе мы замѣнимъ измѣреніемъ совокупности спектральной энергіи. Итакъ законы, управляющіе совокупностью радіацій, должны повести насъ къ успѣшному разрѣшенію задачи о температурѣ солнца; на изученіи этихъ-то законовъ мы и должны сосредоточить наше вниманіе.

Приборы—болометръ, термоэлектрическій микрорадіометръ и видоизмѣненный радіометръ Крукса, служащіе для измѣренія лучистой энергіи, слишкомъ извѣстны, чтобы ихъ здѣсь описывать. Но есть одно обстоятельство, на которое слѣдуетъ обратить особенное вниманіе—это *оптическое качество* пріемника. Та часть прибора, которая предназначена для поглощенія лучей, должна бы поглощать ихъ вполнѣ; въ надеждѣ удовлетворить этому требованію означенную часть покрываютъ сажею, окисью мѣди, платиновою чернью или окисью желѣза; всѣ эти тѣла съ виду черны; но таковы-ли онѣ въ дѣйствительности для всего протяженія спектра? Мы знаемъ, что нѣтъ, и всякій, кто наблюдалъ затменіе солнца чрезъ закопченое стекло, могъ замѣтить, что солнечный дискъ представляется красноватымъ, а не сѣрымъ, что указываетъ на болѣе сильное поглощеніе синихъ лучей, чѣмъ красныхъ;

этотъ недостатокъ поглощенія еще усиливается въ инфракрасномъ; и чѣмъ больше длина волны лучей, тѣмъ сажа становится прозрачнѣе. Поэтому при помощи пріемника, черный цвѣтъ котораго опредѣляется одними глазами, мы не можемъ надѣяться поглотить лучистую энергію всякой длины волны. Впрочемъ поглощеніе сажи достаточно энергично и простирается въ спектрѣ достаточно далеко, чтобы закопченые пріемники позволили намъ указать хотя въ общихъ чертахъ законы, которымъ подчиняются радіаціи. Въ первый разъ эти законы были выяснены въ мемуарѣ Дезена и Кюри, напечатанномъ въ 1879 г.; но самыя важныя данныя по этому вопросу мы находимъ въ классическихъ трудахъ Ланглея, обнародованныхъ нѣсколько лѣтъ позже. Изъ изслѣдованій Ланглея мы удержимъ слѣдующія общія положенія. 1) Лучистая энергія чернаго тѣла, улавливаемая соотвѣтствующимъ пріемникомъ, можетъ быть—какъ функція длины волны—представлена кривою *ABC* (фиг. 1), которая, начинаясь отъ нуля, быстро



фиг. 1.

поднимается, достигаетъ вершины и затѣмъ медленно спускается опять до нуля. 2) По мѣрѣ повышенія температуры источника, всѣ ординаты кривой возрастаютъ и наибольшая изъ нихъ перемѣщается въ сторону короткихъ волнъ; такъ если температурѣ T соотвѣтствуетъ кривая ABC, то болѣе высокой температурѣ T' соотвѣтствуетъ кривая $A'B'C'$. Оба положенія даются Ланглеемъ какъ непосредственныя слѣдствія наблюденій; потребовалось нѣсколько лѣтъ, чтобы физики вывели эти законы теоретически. Съ другой стороны дѣлались многочисленныя попытки для опредѣленія зависимости полной энергіи, лучеиспускаемой источникомъ, отъ температуры послѣдняго; предлагалось много

формулъ для эмпирическаго выраженія наблюденныхъ фактовъ; вообще это были показательныя формулы, часто очень сложныя.

Нѣмецкому физику Стефану посчастливилось найти чрезвычайно простую формулу; собравъ наблюденія различныхъ экспериментаторовъ, онъ замѣтилъ, что эти наблюденія хорошо согласовались между собою, если принять, что лучеиспускательная способность источника пропорціональна четвертой степени его абсолютной температуры.

Наблюденія, которыми располагалъ Стефанъ, не были ни достаточно обширны, ни достаточно точны; кромѣ того они дѣлались при слишкомъ различныхъ условіяхъ, чтобы изъ ихъ случайнаго согласія можно было вывести дѣйствительный законъ природы. Какъ и самъ Стефанъ, всѣ физики думали, что ему удалось найти лишь удобную и легко запоминаемую эмпирическую формулу. И когда Больцманъ показалъ, что этотъ законъ есть слѣдствіе электромагнитной теоріи свѣта, то въ этомъ усматривали лишь ловкій подборъ гипотезъ для полученія предвидимаго результата; разсужденіе Больцмана долго считалось обманчивымъ доказательствомъ, дающимъ нѣкоторое теоретическое основаніе эмпирическому закону Стефана.

Черныя тѣла, съ которыми дѣлалъ свои опыты Ланглей и тѣ, которыя имѣлъ въ виду Больцманъ при своихъ теоретическихъ разсужденіяхъ, были не тождественны: первый пользовался тѣлами *черными на видъ*, тогда какъ второй предполагалъ, что черное тѣло — согласно опредѣленію Кирхгоффа — *абсолютно-поглощающее* всѣ падающіе на него лучи. По кирхгоффскому принципу равенства лучепоглощательной и лучеиспускательной способностей, черное тѣло обладаетъ максимальною испускательною способностью. Представимъ себѣ замкнутую оболочку всюду одной температуры; каждый элементъ такой оболочки, хотя бы не абсолютно черной и не абсолютно отражающей, испускаетъ извѣстные лучи и отражаетъ другіе; сумма всего того, что она испускаетъ и что она отражаетъ, составляетъ всю радіацію; поэтому каждый элементъ оболочки имѣетъ свойство чернаго тѣла.

Такое черное тѣло имѣлъ въ виду В. А. Михельсонъ въ своихъ первыхъ теоретическихъ изслѣдованіяхъ, приведшихъ его къ формулѣ, которая связывала длину волны съ температурою лучеиспускающаго источника и которая должна была представить ту сѣть кривыхъ линій, которую Ланглей изслѣдовалъ путемъ опыта. Но разсужденія Михельсона можно было еще усовершенствовать;

нѣсколько лѣтъ спустя Винъ далъ формулу, которая болѣе согласовалась съ дѣйствительностью; эта формула, называемая *спектральнымъ уравненіемъ*, даетъ распредѣленіе энергіи въ спектрѣ и имѣетъ такой видъ:

$$E_{\lambda, T} = C\lambda^{-5} e^{-c/\lambda T},$$

гдѣ $E_{\lambda T}$ есть лучеиспускательная способность источника абсолютной температуры T для лучей длины волны λ, c и C постоянныя.

Неоднократно возникало сомнѣніе въ справедливости этой формулы и предлагали ее нѣсколько измѣнить. Но изъ этой формулы вытекаютъ два слѣдствія, которыя всѣми принимаются: 1) интегрируя предыдущее выраженіе по λ, мы получаемъ *законъ Стéфана*:

$$E = AT^4, \tag{1}$$

гдѣ E—полная лучеиспускательная способность чернаго тѣла при абсолютной температурѣ T и A постоянная; 2) дифференцируя предыдущее выраженіе по λ, мы находимъ *законъ Вина* или *законъ перемѣщенія*:

$$\lambda_m T = B, \tag{2}$$

гдѣ λ_m длина волны наиболѣе яркихъ лучей, даваемыхъ чернымъ тѣломъ абсолютной температуры T, и B постоянное.

Разсужденія, какъ бы они ни казались строгими, рѣдко приводятъ къ полной увѣренности; въ такомъ сложномъ вопросѣ, какъ въ вопросѣ о радіаціи, легко упустить изъ вида какой-нибудь факторъ; и потому ни одинъ выводъ нельзя считать совершенно надежнымъ, пока хорошо обставленный опытъ не подтвердитъ его вполнѣ. Я не хочу этимъ сказать, чтобы предварительныя разсужденія были излишни. Отыскиваемые законы часто бываютъ очень сложны, и совокупность большого числа опытныхъ данныхъ приводитъ къ формулѣ, которая обнимаетъ ихъ всѣ, лишь послѣ многихъ безплодныхъ попытокъ.

Въ задачѣ, которая насъ занимаетъ, формула Стéфана могла считаться неудовлетворительною; даже изслѣдованія Ланглея, не смотря на ихъ огромную важность въ ознакомленіи съ явленіемъ, могли считаться непригодными для провѣрки теоретической формулы, такъ какъ авторъ ихъ не пользовался чернымъ тѣломъ, удовлетворяющимъ всѣмъ требованіямъ теоріи. Надо было сдѣлать шагъ впередъ и осуществить „черное тѣло".

Послѣ обнародованія труда Кирхгоффа эта задача отчасти разрѣшалась, когда наблюдали лучи, испускаемые глубокою впадиною; Христіанзенъ, Ле-Шателье и др. настаивали на необходимости наблюдать внутри оболочки, нагрѣтой всюду одинаково. Но идея вполнѣ созрѣла лишь въ той атмосферѣ, въ которой жилъ самъ Кирхгоффъ: въ Берлинскомъ университетѣ и въ Шарлотенбургскомъ физико-техническомъ институтѣ почти одновременно были сдѣланы первыя попытки полнаго осуществленія „чернаго тѣла", соотвѣтствующаго идеямъ Кирхгоффа.

Построить замкнутую оболочку и наблюдать испускаемые ею лучи можно только для невысокихъ температуръ.

Но и при всякой температурѣ можно какъ угодно близко подойти къ опредѣленію Кирхгоффа, осуществляя почти замкнутую оболочку съ малымъ отверстіемъ, чрезъ которое будемъ наблюдать снаружи. Всего удобнѣе сдѣлать эту оболочку въ видѣ платиноваго цилиндра, суженнаго по концамъ; такой цилиндръ нагрѣваютъ сильнымъ электрическимъ токомъ, проходящимъ по всей его длинѣ; около одного изъ концовъ, противъ отверстія, помѣщаютъ пріемникъ болометра, заключеннаго въ ящикъ съ однимъ только отверстіемъ, чрезъ которое и проникаютъ лучи.

Обладая всѣми этими приборами, Луммеръ сперва одинъ, а затѣмъ въ сотрудничествѣ своихъ товарищей—Гольборна, Курльбаума, Прингсгейма и Вина—предпринялъ тщательную провѣрку законовъ лучеиспусканія, при чемъ „черное тѣло" нагрѣвалось выше 1400°. Изъ длиннаго ряда числовыхъ результатовъ, собранныхъ Луммеромъ, мы отмѣтимъ только два заключенія: *законъ Стефана и законъ перемѣщеній вполнѣ подтверждаются.*

Результаты упомянутыхъ изслѣдованій значительно подвинули впередъ вопросъ о температурѣ солнца. Конечно, температуры, въ предѣлахъ коихъ законы были установлены опытно, очень еще далеки отъ той, которую мы имѣемъ въ виду оцѣнить; искомую температуру приходится найти экстраполяціею, которая можетъ показаться ненадежною. Впрочемъ теперь вопросъ принялъ совершенно иной видъ. Пока законы лучеиспусканія не имѣли другого назначенія, какъ представлять результаты опытовъ для нуждъ интерполяціи, всякая экстраполяція была почти невозможна. Но теперь законы лучеиспусканія сначала были связаны съ рядомъ теоретическихъ идей, затѣмъ справедливость разсужденій была провѣрена опытомъ въ широкихъ пре-

дѣлахъ температуры; кромѣ того эти законы очень просты, что́ чрезвычайно важно для экстраполяціи.

Впрочемъ надо сдѣлать одну оговорку. Все, что было сказано выше, относится исключительно къ черному тѣлу. Но можемъ-ли мы утверждать, что солнце—черное тѣло? Теорія показываетъ, что смѣсь нѣсколькихъ газовъ, особенно если она сжата и взята толстымъ слоемъ, обладаетъ свойствами чернаго тѣла, при условіи одинаковой повсюду температуры. Солнце очевидно удовлетворяетъ первымъ двумъ условіямъ, но не удовлетворяетъ послѣднему. Конечно, если бы довольно толстый слой солнца былъ хотя приблизительно одной температуры, то этого было бы достаточно, чтобы сообщить ему абсолютную непрозрачность. Но здѣсь мы вступаемъ въ область неизвѣстнаго; лучше, не создавая новыхъ гипотезъ, откровенно сознаться, что мы ищемъ лишь *температуру, которую имѣло бы солнце, если бы оно было абсолютно-чернымъ*, или что мы ищемъ—по выраженію Ле-Шателье—*эффективную* температуру солнца.

Примѣнимъ сначала законъ Сте́фана. Начнемъ съ опредѣленія лучеиспусканія солнца, т. е. количества энергіи, лучеиспускаемой въ одну секунду квадратнымъ центиметромъ солнечной поверхности; для этого стоитъ только солнечную постоянную помножить на квадратъ отношенія радіусовъ земной орбиты и солнца; примемъ солнечную постоянную въ четыре калоріи для квадратнаго центиметра и минуты и слѣд. солнечное лучеиспусканіе $E = 12900$ уаттовъ; это число больше всѣхъ тѣхъ, которыя давались до сихъ поръ, но къ которому, какъ къ предѣлу, стремятся всѣ результаты, по мѣрѣ ихъ исправленія; поэтому, пользуясь предыдущимъ значеніемъ E, мы для температуры солнца должны найти такое число, которое—при настоящемъ состояніи вопроса—можно считать за maximum. Впрочемъ, такъ какъ температура пропорціональна корню четвертой степени солнечнаго лучеиспусканія, то вліяніе ошибки, сдѣланной въ опредѣленіи послѣдней, значительно уменьшается. Опыты показали, что квадратный центиметръ чернаго тѣла, нагрѣтаго на 1^{0} выше окружающихъ тѣлъ, лучеиспускаетъ $5{\cdot}32.10^{-12}$ уаттовъ; мы можемъ принять, что таково же лучеиспусканіе чернаго тѣла, нагрѣтаго до 1^{0} абсолютной шкалы; итакъ $A = 5{\cdot}32.10^{-12}$. Послѣ этого формула (1) принимаетъ видъ:

$$12900 = 5{\cdot}32.10^{-12}\, T^4,$$

откуда $T = 7000^{\circ}$. Такимъ образомъ законъ Стефана даетъ какъ верхній предѣлъ для температуры солнца 7000° по абсолютной шкалѣ или около 6700° Ц.

Теперь обратимся къ закону перемѣщенія. Если длины волнъ выражать въ микронахъ (т. е. тысячныхъ миллиметра), а температуры по абсолютной шкалѣ, постоянная форм. (2) имѣетъ числовое значеніе 2900 на всемъ промежуткѣ изслѣдованныхъ температуръ, такъ что формулу (2) можно представить такъ:

$$\lambda_m T = 2900.$$

Остается узнать въ какомъ мѣстѣ солнечнаго спектра помѣщается maximum энергіи. Опыты опредѣляютъ $\lambda_m = 0{\cdot}54\ \mu$; но атмосфера, какъ извѣстно, поглощаетъ короткія волны сильнѣе, чѣмъ длинныя, что заставляетъ нашъ maximum перемѣщаться въ сторону краснаго конца спектра; внѣ атмосферы онъ ближе къ фіолетовому концу; по всей вѣроятности мы будемъ недалеко отъ истины, принявъ $\lambda_m = 0{\cdot}5\ \mu$. Отсюда находимъ, что температура солнца $T = 2900/0{\cdot}5 = 5800^{\circ}$ по абсолютной шкалѣ.

Если принять во вниманіе, что оба закона, которыми мы пользовались, совершенно независимы одинъ отъ другого и что вычисленія дѣлаются на основаніи не совсѣмъ достовѣрныхъ результатовъ опытовъ, мы конечно признаемъ согласіе вышеприведенныхъ двухъ чиселъ не только достаточнымъ, но и поразительнымъ; это согласіе подтверждаетъ a posteriori тѣ немногія гипотезы, которыя пришлось попутно дѣлать.

Наша оцѣнка температуры, какъ я уже замѣтилъ выше, касается исключительно поверхностныхъ слоевъ солнца; вопросъ о температурѣ болѣе глубокихъ слоевъ солнца, повидимому, еще совершенно недоступенъ; можно лишь утверждать, что она гораздо выше данной выше цифры.

Отмѣчая громадную разницу между числами, которыми разные ученые еще такъ недавно оцѣнивали температуру солнца, намъ могло казаться, что наши свѣдѣнія, на которыхъ основываются эти оцѣнки, находятся въ дѣтскомъ возрастѣ. Но въ самое короткое время вопросъ изъ хаотическаго состоянія былъ доведенъ до его теперешняго состоянія полной ясности. И потому мы не можемъ не восхищаться изслѣдованіями въ области лучеиспусканій, которыя позволили намъ съ успѣхомъ взяться за одну изъ самыхъ трудныхъ задачъ физической астрономіи.

Отношеніе электромагнитныхъ и электростатическихъ единицъ

Ф. Рихарца [1].

1. *Предварительныя замѣчанія.* Результатъ какого-нибудь физическаго измѣренія сначала всегда бываетъ относительнымъ, показывая во сколько разъ измѣряемая величина больше или меньше другой однородной величины, принятой за единицу. Напр. магнитную массу полюса можно измѣрить по сравненію его дѣйствія съ дѣйствіемъ другого полюса, массу котораго считаютъ за единицу; послѣдній полюсъ сохраняется для повторенія подобныхъ измѣреній. Произвольность и неопредѣленность выбора такой единицы ясны сами собою. Но нельзя-ли физическія измѣренія освободить отъ такихъ недостатковъ и сдѣлать ихъ *абсолютными,* выбравъ единицы, на основаніи такихъ общихъ соображеній, которыя бы примѣнялись ко всей области физики? Подобная цѣль можетъ быть достигнута лишь тогда, когда всѣ физическія единицы производятся отъ такихъ основныхъ единицъ, которыя уже не могутъ быть сведены къ какимъ-либо другимъ.

Эти основныя единицы суть единицы длины, времени и массы. Понятіе о массѣ не находится на одномъ уровнѣ съ основными представленіями пространства и времени. Мы не будемъ останавливаться на вопросѣ, удастся-ли когда-нибудь разъяснить понятіе о массѣ или свести его къ длинѣ и времени; мы примемъ массу за основное понятіе и поставимъ его рядомъ съ понятіями о пространствѣ и времени, при чемъ подъ массою тѣла будемъ разумѣть количество его вещества.

За единицу длины принимаютъ обыкновенно метръ или сорокамилліонную часть окружности земли, измѣренной по Парижскому меридіану. За единицу времени принимаютъ *секунду* или

---

[1]) Переводъ съ нѣмецкаго лекціи, читанной 1 мр. 1899 г. въ Грейфсвальдскомъ естественно-историческомъ Кружкѣ (*F. Richarz*, Die magnetischen und elektrischen absoluten Masseincheiten, Ampère, Volt, Ohm).

60×60×24-ую долю сутокъ, т. е. того времени, которое протекаетъ между двумя послѣдовательными полуднями. За единицу массы принимаютъ массу одного куб. центиметра воды; эту массу называютъ *граммомъ*. Такъ какъ граммъ опредѣляется на основаніи центиметра, то для послѣдовательности и за единицу длины примемъ *центиметръ* вмѣсто метра. Такимъ образомъ основныя единицы будутъ: *центиметръ*, *граммъ* и *секунда*. Основанная на нихъ абсолютная система единицъ называется центиметръ-граммъ-секунда (C. G. S.) система единицъ.

Прежде, чѣмъ обращаться къ вопросу можно-ли измѣренія магнитныхъ и электрическихъ величинъ свести къ этимъ основнымъ единицамъ, мы должны вкратцѣ ознакомиться съ болѣе сложными механическими единицами, производимыми отъ длины, массы и времени.

Первая производная единица есть единица скорости: *центиметръ, дѣленный на секунду*. Если тѣло, перемѣщаясь равномѣрно, проходитъ 20 m. въ 2 s. или 10 m. въ 1 s., то оно обладаетъ скоростью 1000 C. G. S. единицъ, т. е. проходитъ 1000 cm. въ секунду.

Ускореніемъ называютъ приращеніе скорости тѣла, въ теченіе секунды; ускореніе считаютъ равнымъ единицѣ, если скорость въ теченіе секунды измѣняется на единицу. Пусть сначала покоющееся тѣло приходитъ въ движеніе и въ концѣ первой секунды имѣетъ скорость равную 1000; тогда ускореніе тѣла тоже равно 1000 C. G. S. единицамъ.

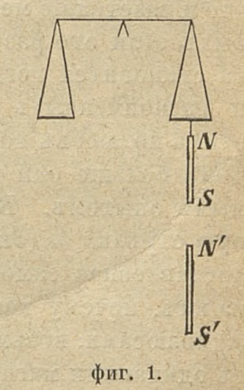
Тѣло имѣетъ ускореніе только въ томъ случаѣ, когда на него дѣйствуетъ сила; послѣднюю измѣряютъ массою тѣла, къ которому она приложена, помноженною на его ускореніе. Поэтому за единицу силы принимаютъ такую силу, которая массѣ въ 1 gr. сообщаетъ единицу ускоренія; такую единицу силы наз. *диною*. Подъ дѣйствіемъ силы тяжести падающее тѣло въ первую секунду своего движенія получаетъ скорость (приблизительно) 10 m/sec., т. е. 1000 единицъ; *вѣсомъ* тѣла называютъ силу, съ которою тяжесть дѣйствуетъ на него; слѣд. вѣсъ одного грамма приблизительно равенъ 1000 dn.; вѣсъ одного mgr. равенъ одной динѣ, а вѣсъ одного kgr. равенъ милліону динъ.

Машина совершаетъ работу, когда поднимаетъ грузъ; работу измѣряютъ произведеніемъ вѣса поднимаемаго груза на высоту подъема. Если машина поднимаетъ грузъ въ одинъ килограммъ массы на высоту одного метра, то она совершаетъ ра-

боту въ килограммометръ; но kgm. не есть единица въ абсолютной C. G. S. системѣ. Такая единица работы совершается, когда тѣло, вѣсъ коего равенъ одной динѣ (слѣд. масса котораго прибл. 1 mgr.), поднимается на 1 cm.; эта единица работы наз. *эргомъ*. Одинъ килограммометръ приблизительно равенъ 100 милліонамъ эрговъ.

Въ непосредственной связи съ механическими единицами находится единица для измѣренія количества тепла. Относительная единица тепла есть *калорія*, т. е. то количество тепла, которое нагрѣваетъ килограммъ воды отъ 0° до 1° Ц.; такое количество тепла можно непосредственно сравнить съ единицею работы, ибо по опытамъ Джауля калорія эквивалентна 428 kgm.; это значитъ, что въ паровой машинѣ, превращающей теплоту въ механическую работу, вмѣсто каждой использованной калоріи теплоты получается 428 kgm. работы. Или иначе: если треніемъ, какъ напр. въ тормазѣ, механическая работа превращается въ теплоту, то на каждые затраченные 428 kgm. работы появляется одна калорія тепла. Такимъ образомъ теплоту можно измѣрять абсолютно числомъ единицъ эквивалентной работы.

2. *Электромагнитныя абсолютныя единицы.* Для того, чтобы электрическія и магнитныя величины привести къ основнымъ единицамъ, надо за точку отправленія выбрать какое-нибудь дѣйствіе, поддающееся механическому измѣренію. Съ этою цѣлью можно воспользоваться силами притяженія или отталкиванія электрическихъ зарядовъ (электростатическая система измѣреній) или магнитныхъ полюсовъ (электромагнитная система измѣреній); послѣдняя—по закону Кулона—равна произведенію магнитныхъ массъ взаимодѣйствующихъ полюсовъ, раздѣленному на квадратъ разстоянія между ними. Въ электромагнитной C. G. S. системѣ тотъ полюсъ имѣетъ магнитную массу равную единицѣ, который на такой же полюсъ, отстоящій отъ него на 1 cm., дѣйствуетъ съ силою 1 dn. Эту силу можно было бы измѣрить слѣдующимъ образомъ. Магнитъ NS (фиг. 1) подвѣсимъ къ одной чашкѣ вѣсовъ и уравновѣсимъ его грузомъ, положеннымъ на другую чашку, и въ разстояніи 1 cm. отъ нижняго полюса подвѣшеннаго магнита помѣстимъ такой же магнитной массы полюсъ другого магнита $N'S'$; затѣмъ, накладывая грузы на

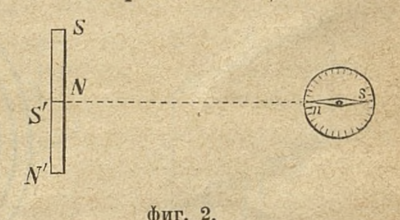


Фиг. 1.

ту или на другую чашку (смотря по тому, притягиваются или отталкиваются полюсы), удержимъ вѣсы въ равновѣсіи; вѣсъ этого уравновѣшивающаго груза равенъ силѣ взаимодѣйствія нашихъ полюсовъ N' и S (дѣйствіе другихъ полюсовъ—вслѣдствіе большого разстоянія—мало, и имъ можно пренебречь). Пусть уравновѣшивающій грузъ имѣетъ массу 90 gr. и потому вѣсъ 90000 dn.; слѣд. магнитная масса каждаго изъ нашихъ имѣетъ $\sqrt{90000} = 300$ C. G. S. единицъ. Отсюда видно какъ просто вычисляется сила взаимодѣйствія двухъ полюсовъ, когда даны ихъ магнитныя массы въ абсолютныхъ единицахъ; если напр. сѣверный полюсъ имѣетъ массу въ 50, а южный—въ 8 C. G. S. единицъ, то въ разстояніи 1 cm. они взаимно притягиваются съ силою $50.8 = 400$ dn. Съ измѣненіемъ разстоянія между полюсами эта сила измѣняется: такъ при разстояніи въ 2 cm. сила уменьшается въ 4 раза, т. е. равна 100 dn.

Въ большинствѣ случаевъ мы имѣемъ дѣло не съ отдѣльными полюсами, а съ магнитами, состоящими по крайней мѣрѣ изъ двухъ разноименныхъ полюсовъ; только когда полюсы N' и S двухъ магнитовъ гораздо ближе между собою, чѣмъ S и N' отъ S' и N, дѣйствіями этихъ полюсовъ S и N' можно пренебречь; но въ иныхъ случаяхъ такъ поступать нельзя. Дѣйствіе цѣлаго магнита на удаленный полюсъ опредѣляется его *магнитнымъ моментомъ*, т. е. произведеніемъ магнитной массы одного полюса магнита на его разстояніе отъ другого полюса того же магнита. Ясно, что дѣйствіе магнита тѣмъ больше, чѣмъ большею магнитною массою обладаютъ его полюсы; но нетрудно видѣть, что и разстояніе между полюсами магнита имѣетъ значеніе; во первыхъ если это разстояніе исчезаетъ, магнитный моментъ магнита становится тогда $= 0$, то и дѣйствія совпадающихъ равныхъ и разноименныхъ полюсовъ взаимно уничтожаются. Дѣйствія этихъ полюсовъ подвержены тѣмъ меньше взаимному ослабленію, чѣмъ больше они раздвинуты. Послѣднее можно доказать прямымъ опытомъ. Возьмемъ компасъ или горизонтальную магнитную стрѣлку ns (фиг. 2) съ раздѣленнымъ кругомъ подъ нею; предоставленная самой себѣ эта стрѣлка располагается съ сѣвера на югъ, почему концы ея и называются сѣвернымъ (n) и южнымъ (s) полюсами; возьмемъ еще нѣсколько одинакихъ магнитовъ (слѣд. съ одинакими магнитными моментами) и сначала будемъ держать ихъ вдали отъ стрѣлки; одинъ изъ магнитовъ помѣстимъ вблизи компаса, тогда стрѣлка его отклонится отъ своего обычнаго на-

правленія; пусть отклоненіе будетъ въ 9 дѣленій круга; приложимъ теперь къ 1-му магниту 2-ой такъ, какъ показано на чертежѣ, а именно, чтобы одинъ магнитъ составлялъ продолженіе другого и чтобы разноименные полюсы соприкасались; дѣйствія послѣднихъ взаимно уничтожаются и остаются дѣйствующими лишь одни крайніе полюсы, которые отстоятъ другъ отъ друга на разстояніи вдвое больше, чѣмъ полюсы каждаго изъ отдѣльныхъ магнитовъ; такіе два магнита вмѣстѣ обладаютъ вдвое бóльшимъ магнитнымъ моментомъ, чѣмъ каждый въ отдѣльности; теперь стрѣлка компаса отклонена на 18 дѣленій, т. е. вдвое больше, чѣмъ въ предыдущемъ опытѣ.

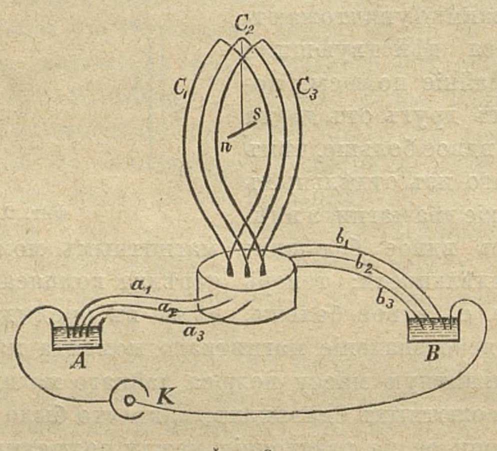


Фиг. 2.

Отсюда ясно значеніе магнитнаго момента магнита для его дѣйствія. Магнитную массу полюса даннаго магнита можно измѣрить въ абсолютныхъ единицахъ, какъ это было объяснено выше; помноживши ее на разстояніе между полюсами, выраженное въ центиметрахъ, получимъ магнитный моментъ нашего магнита, выраженный въ C. G. S. единицахъ. Въ C. G. S. системѣ за единицу магнитнаго момента принимаютъ моментъ такого магнита, полюсы коего имѣютъ массы равныя единицамъ, и отстоятъ другъ отъ друга на одинъ центиметръ.

Электрическій токъ тоже оказываетъ магнитное дѣйствіе; на отдаленную стрѣлку это дѣйствіе тѣмъ больше, чѣмъ больше токъ и чѣмъ больше обтекаемая имъ площадь. Доказать вліяніе величины тока на его магнитное дѣйствіе можно слѣдующимъ опытомъ. Внутри трехъ совершенно одинакихъ согнутыхъ по кругу мѣдныхъ проволокъ C_1, C_2 и C_3 (фиг. 3) виситъ магнитная стрѣлка *ns*; плоскости этихъ оборотовъ проволоки помѣщены вертикально съ сѣвера на югъ, такъ что магнитная стрѣлка сама устанавливается параллельно этимъ плоскостямъ; если чрезъ обороты проволокъ пропустить электрическій токъ, то стрѣлка отклоняется на нѣкоторый уголъ изъ своего первоначальнаго положенія, совершенно также, какъ она отклонялась подъ дѣйствіемъ магнита; если перемѣнить направленіе тока въ оборотахъ проволоки, то стрѣлка отклоняется на такой же уголъ въ другую сторону. Можно слѣдующимъ образомъ доказать, что магнитное дѣйствіе тока зависитъ отъ его величины: батарею *K* соединяютъ съ чашечками *A* и *B*, наполненными ртутью; первая чашечка про-

волоками a_1, a_2 и a_3 соединяется съ передними концами оборотовъ, а вторая чашечка проволоками b_1, b_2 и b_3 соединяется съ задними концами тѣхъ же оборотовъ; токъ, приходя въ чашечку A, развѣтвляется: по каждому изъ оборотовъ проходитъ лишь треть то-



фиг. 3.

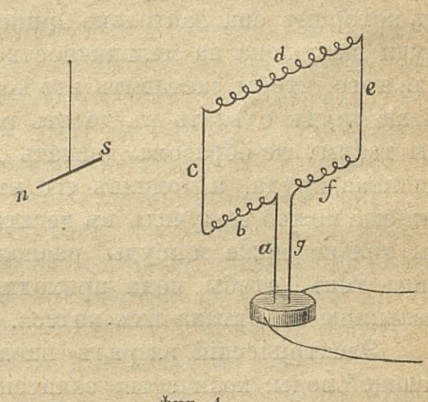
ка; но во всѣхъ оборотахъ токи идутъ по одному направленію, напр. отъ переднихъ концовъ къ заднимъ; въ чашечкѣ B всѣ эти токи опять соединяются вмѣстѣ; все происходитъ такъ, какъ если бы токъ, не раздѣляясь, проходилъ по одному обороту; стрѣлка подъ дѣйствіемъ этихъ трехъ токовъ отклоняется на нѣкоторый уголъ. Соединимъ теперь проволочку a_1 съ чашечкою B, а проволочку b_1 съ A; тогда мы измѣнимъ направленіе тока въ C_1 и дѣйствіе его будетъ уничтожаться дѣйствіемъ одного изъ другихъ двухъ токовъ, напр. тока въ C_2; стрѣлка будетъ находиться слѣд. подъ дѣйствіемъ одного тока въ C_3, т. е. подъ дѣйствіемъ одной трети всего тока; стрѣлка, какъ показываетъ опытъ, отклоняется теперь на уголъ втрое меньшій прежняго.

Еще докажемъ, что магнитное дѣйствіе тока зависитъ отъ обтекаемой имъ площади. Для этого возьмемъ магнитную стрѣлку ns (фиг. 4) и въ параллельной ей вертикальной плоскости расположимъ прямоугольный проводникъ, вертикальныя стороны c и e котораго образованы изъ прямыхъ проволокъ, а горизонтальныя d и bf изъ упругихъ спиралей; раздвигая стороны c и e и растягивая спирали, можно, не измѣняя тока, увеличить обтекаемую имъ площадь; если эту площадь удвоить, то стрѣлка отклоняется на вдвое большій уголъ.

Теперь мы можемъ условиться въ абсолютной единицѣ тока; за таковую мы примемъ токъ, который, обтекая квадратный центиметръ, производитъ такое же магнитное дѣйствіе, какъ магнитъ, моментъ коего равенъ единицѣ въ системѣ C. G. S. Токъ i, обтекая q квадр. cm., оказываетъ такое же магнитное дѣйствіе какъ магнитъ, моментъ коего

$$M = iq.$$

Опять видимъ какъ просто находится величина магнитнаго дѣйствія тока, если его выражать въ этихъ единицахъ.



фиг. 4.

Чрезъ проволоку, ограничивающую квадр. центиметръ, пропустимъ токъ, который будемъ измѣнять (при помощи ящика сопротивленія), пока наша проволока не станетъ отклонять магнитную стрѣлку также, какъ помѣщенный на ея мѣсто магнитъ съ моментомъ равнымъ единицѣ. Этимъ же токомъ станемъ разлагать подкисленную воду, при чемъ будутъ выдѣляться водородъ и кислородъ. Смѣсь этихъ газовъ называютъ гремучимъ газомъ, ибо онъ, будучи подожженъ, съ оглупительнымъ шумомъ взрывается, при чемъ его составныя части соединяются и образуютъ воду. Дѣлая такое разложеніе въ особомъ приборѣ, называемомъ вольтаметромъ, выдѣляющіеся газы можно собрать въ стекляномъ цилиндрѣ, раздѣленномъ на куб. центиметры. Опытъ показываетъ, что токъ, величина коего равна вышеустановленной единицѣ, проходя чрезъ подкисленную воду, выдѣляетъ изъ нея 104·4 c. cm. въ теченіе минуты. Десятую долю такого тока наз. *амперомъ*, по имени извѣстнаго французскаго физика. Разъ мы убѣдились, что токъ въ 1 amp. въ теченіе минуты выдѣляетъ 10·44 c. cm. гремучаго газа, можно—измѣреніемъ выдѣленнаго гремучаго газа—опредѣлить въ амперахъ токъ всякой величины. Дѣленія шкалы, передъ которою перемѣщается стрѣлка гальванометра, можно прямо градуировать, такъ чтобы она показывала число амперовъ даннаго тока; такой гальванометръ называютъ амперметромъ.

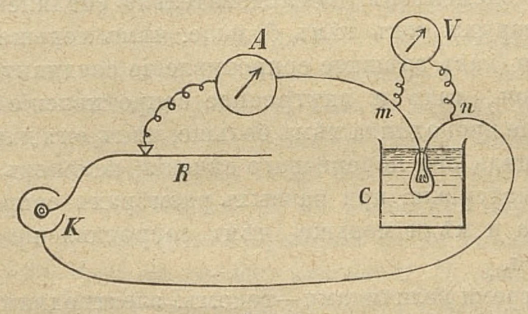
Электрическій разрядъ можетъ совершать работу. Для то-

го, чтобы судить о ея величинѣ, разсмотримъ работу, которую способна совершать вода, поднятая на высоту; эта работа тѣмъ больше, чѣмъ больше масса воды и чѣмъ выше она поднята. Представимъ себѣ прудъ, въ которомъ собрано столько воды и въ которомъ она настолько приподнята надъ мельницею, что, будучи выпущена на мельничное колесо, ея какъ разъ достаточно для того, чтобы заставить это колесо вертѣться въ теченіе часа. Если прудъ сдѣлать въ десять разъ больше, то его вода могла бы такимъ же образомъ двигать десять мельницъ. Но и не увеличивая пруда, а поднявъ его въ десять разъ выше надъ мельницею, можно получить въ десять разъ бо́льшую работу: стоило бы только ниже запруды расположить лѣстницею десять мельницъ такъ, чтобы вода проходила послѣдовательно чрезъ всѣ мельницы и двигала ихъ колеса.

Электрическій разрядъ вполнѣ аналогиченъ паденію работающей воды: количество запасенной воды соотвѣтствуетъ количеству собраннаго электричества, а высота, на которой держится вода, соотвѣтствуетъ *напряженію* (потенціалу) заряженнаго этимъ электричествомъ проводника. Аналогично съ предыдущимъ случаемъ работа, которую способенъ произвести электрическій разрядъ, равна количеству участвующаго при разрядѣ электричества, помноженному на происходящее при этомъ уменьшеніе напряженія. Но подъ величиною тока (постояннаго) разумѣютъ количество электричества, протекающаго въ теченіе секунды. Работа, совершаемая при этомъ въ одну секунду на опредѣленной части цѣпи, равна слѣдовательно току, помноженному на разность напряженія въ началѣ и концѣ разсматриваемой части цѣпи. Одно изъ дѣйствій электрическаго тока состоитъ въ нагрѣваніи протекаемаго проводника; этимъ нагрѣваніемъ пользуются для электрическаго освѣщенія. Это нагрѣваніе представляетъ опредѣленную работу; развившуюся теплоту можно измѣрить (калориметрически); для этого введемъ въ цѣпь калильную лампочку и опустимъ ее въ калориметръ, теплоемкость коего равна единицѣ; нагрѣваніе такого калориметра на каждый градусъ соотвѣтствуетъ развитію токомъ единицы тепла или калоріи. Отсюда перечисленіемъ легко найти работу тока, которую выражаютъ соотвѣтствующимъ числомъ эрговъ или килограммометровъ. На основаніи подобныхъ измѣреній можно опредѣлить абсолютную единицу напряженія, которую называютъ *вольтъ* (по имени итальянскаго физика Вольты): когда токъ въ 1 amp., про-

ходя по проводнику, въ теченіе одной секунды развиваетъ въ немъ теплоту эквивалентную 1/10 kgm. (или точнѣе 10^7 эрговъ), то разность напряженій на концахъ этого проводника равна одному вольту.

Для измѣренія разности напряженій имѣется много различныхъ приборовъ, извѣстныхъ подъ названіемъ *вольтметровъ*; наиболѣе употребительные представляютъ опять особый родъ гальванометра, въ которомъ не три (какъ на фиг. 3), а очень много оборотовъ тонкой проволоки, представляющей очень значительное сопротивленіе; поэтому въ нашемъ гальванометрѣ токъ всегда очень слабъ, и отклоненіе стрѣлки даетъ мѣру разности напряженій въ тѣхъ точкахъ цѣпи, къ которымъ приложены концы вольтметра. Для градуированія вольтметра согласно съ предыдущимъ можно поступить такъ. Токъ отъ батареи *K* (фиг. 5) пропускаютъ чрезъ амперметръ *A* и калильную лампочку, опущенную въ калориметръ *C*, теплоемкость котораго равна едини-



фиг. 5.

цѣ; въ *R* имѣется такъ называемый реостатъ, т. е. измѣняемое сопротивленіе (передвигая конецъ верхней проволоки вдоль нижней, можно включать въ цѣпь бóльшую или меньшую часть послѣдней), которое надо взять такимъ, чтобы температура нашего калориметра поднималась на 1° Ц. въ теченіе 7 m. (точнѣе на 1/428 градуса въ теченіе одной секунды); тогда въ лампочкѣ въ теченіе каждой секунды развивается 1/428 калоріи, что эквивалентно 1 kgm.; при такихъ условіяхъ вольтметръ *V*, опредѣляющій насколько падаетъ напряженіе цѣпи отъ точки *m* до точки *n*, долженъ показывать 10 volt. Такимъ образомъ единица напряженія—вольтъ—опредѣлена.

Если вольтметръ соединить непосредственно съ концами разомкнутаго элемента, то онъ покажетъ разность напряженій

концовъ элемента; но это есть не что иное, какъ электродвижущая сила элемента. Такимъ образомъ электродвижущая сила элемента Даніэля оказывается равною немного больше одного вольта.

Работа электрическаго тока можетъ получаться не только въ видѣ тепла, но и въ видѣ механической работы. Токъ въ 1 amp. между точками цѣпи, разность напряженій коихъ равна 1 volt, совершаетъ въ каждую секунду работу въ 1/10 kgm., что соотвѣтствуетъ 1/750 лошадиной силы; такую рабочую способность принимаютъ за единицу, называемую *уаттомъ*. По закону сохраненія энергіи надо затратить точно такую же механическую работу для образованія того же тока, если онъ образуется чисто механическимъ путемъ, какъ напр. въ динамомашинѣ.

Намъ остается еще опредѣлить единицу сопротивленія. Токъ, обусловливаемый въ данной цѣпи, во-первыхъ тѣмъ больше, чѣмъ больше ея электродвижущая сила, чѣмъ больше напр. число гальваническихъ элементовъ, послѣдовательно соединенныхъ въ батарею; во-вторыхъ токъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше сопротивленіе всей цѣпи (какъ внѣшнее сопротивленіе соединительныхъ проволокъ и проч., такъ и внутреннее сопротивленіе элементовъ). Сопротивленіе проводника тѣмъ больше, чѣмъ онъ длиннѣе и чѣмъ меньше площадь его поперечнаго сѣченія; наконецъ оно еще зависитъ отъ матеріала; при равныхъ размѣрахъ сопротивленіе золота, серебра и мѣди меньше, чѣмъ сопротивленіе желѣза, платины и ртути.

Между тремя величинами—токомъ, электродвижущею силою и сопротивленіемъ—существуетъ зависимость, найденная нѣмецкимъ физикомъ Омомъ, и извѣстная подъ названіемъ *закона Ома*: въ замкнутой цѣпи токъ прямо-пропорціоналенъ электродвижущей силѣ и обратно-пропорціоналенъ сопротивленію.

Прежде сопротивленіе измѣряли въ „ртутныхъ единицахъ" Сименса; это—сопротивленіе столба ртути въ 1 m. длины и 1 □ mm. поперечнаго сѣченія. Въ абсолютной системѣ единицу сопротивленія опредѣляютъ иначе, а именно какъ сопротивленіе, въ которомъ разность напряженій въ 1 volt развиваетъ токъ въ 1 amp. Такую единицу сопротивленія называютъ *омомъ*.

Составимъ цѣпь изъ гальваническаго элемента, электродвижущая сила котораго 1 volt, и внѣшней проволоки съ амперметромъ; будемъ измѣнять (при помощи реостата *R*, фиг. 5) сопротивленіе этой внѣшней проволоки до тѣхъ поръ, пока токъ въ

цѣпи не сдѣлается равнымъ одному амперу; тогда полное сопротивленіе цѣпи (внѣшнее и внутреннее) равно одному ому. Оказывается, что омъ лишь немного (на 6%) больше ртутной единицы. Если мы имѣемъ батарею элементовъ съ электродвижущею силою въ 6 volt и сопротивленіе цѣпи равно 3 ohm, то по закону Ома находимъ, что токъ равенъ 2 amp.; и вообще число амперовъ равно числу вольтъ, раздѣленному на соотвѣтствующее число омовъ. Такимъ образомъ если даны два изъ этихъ чиселъ, то третье находится очень просто.

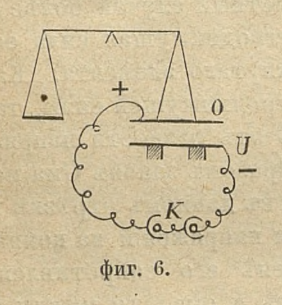
Законъ Ома можно примѣнять еще иначе. Выше мы видѣли, что „электродвижущая сила" есть частный случай болѣе общаго понятія разности напряженій: электродвижущая сила есть разность напряженій на концахъ разомкнутаго элемента. Какъ токъ во всей цѣпи зависитъ отъ ея электродвижущей силы, такъ на данномъ отрѣзкѣ цѣпи токъ зависитъ отъ разности напряженій на концахъ этого отрѣзка. Такимъ образомъ законъ Ома можно выразить еще слѣдующимъ образомъ: въ данномъ отрѣзкѣ цѣпи токъ прямо пропорціоналенъ разности напряженій на концахъ этого отрѣзка и обратно пропорціоналенъ его сопротивленію. Если принять за единицы амперъ, вольтъ и омъ, то между ними существуетъ прежнее соотношеніе: число амперовъ равно числу вольтъ, раздѣленному на число омовъ. Такъ если въ опытѣ, къ которому относится фиг. 5, въ калильной лампочкѣ идетъ токъ въ 1 amp. и разность напряженій на ея концахъ равна 10 volt, то сопротивленіе ея должно равняться 10 ohm.

Мы выяснили, что́ слѣдуетъ разумѣть подъ единицами: амперъ, вольтъ и омъ; мы видѣли преимущество отъ ихъ введенія.

3. *Электростатическая система единицъ.* Выше изложенная система электромагнитныхъ единицъ на практикѣ наиболѣе важная; но упомянутая уже вскользь электростатическая система единицъ имѣетъ теоретическое значеніе; поэтому скажемъ нѣсколько словъ и объ ней.

Какъ электромагнитная система выводится изъ механически измѣренныхъ силъ взаимодѣйствія магнитныхъ полюсовъ, такъ электростатическая система выводится изъ силъ взаимодѣйствія электрическихъ зарядовъ. Въ электростатической C. G. S. системѣ за единицу принимается то количество электричества, которое такое же количество электричества, находящееся на разстояніи 1 cm. отъ него, отталкиваетъ съ силою 1 dn. Количество электричества можно было бы измѣрить такимъ образомъ. Ме-

таллическая пластинка *O* (фиг. 6), образующая верхнюю обкладку конденсатора, подвѣшена на шелковинкахъ къ правому плечу коромысла вѣсовъ; грузами, положенными на лѣвую чашку, вѣсы приводятся къ равновѣсію. Подъ этою пластинкою, на разстояніи 1 cm. отъ нея, помѣщается другая такая же пластинка *U*, укрѣпленная на изолирующихъ ножкахъ и образующая нижнюю обкладку конденсатора. Затѣмъ верхнюю пластинку *O* соединяютъ проволокою съ однимъ, напр. положительнымъ полюсомъ гальванической батареи *K*, составленной изъ очень большого числа послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, а нижнюю пластинку *U* соединяютъ съ отрицательнымъ полюсомъ той же батареи; при этомъ верхняя пластинка заряжается нѣкоторымъ количествомъ положительнаго электричества, а нижняя — такимъ же количествомъ отрицательнаго электричества. Пластинки взаимно притягиваются и на лѣвую чашку вѣсовъ надо прибавить нѣкоторый грузъ, чтобы равновѣсіе не нарушалось. Пусть для этого надо положить грузъ въ 90 gr.; тогда сила, съ которою заряды обѣихъ пластинокъ взаимодѣйствуютъ, равна 90000 dn. Сдѣлаемъ теперь предположеніе, что заряды находятся не на пластинкахъ, а сосредоточены въ двухъ точкахъ, отстоящихъ на 1 cm. другъ отъ друга; тогда—разсужденіями, подобными тѣмъ, которыя мы дѣлали по поводу магнитныхъ полюсовъ — приходимъ къ заключенію, что каждый изъ нашихъ зарядовъ равенъ 300 электрическимъ единицамъ. Описанный нами принципъ измѣренія зарядовъ примѣняется въ абсолютномъ электрометрѣ В. Томсона.



фиг. 6.

4. *Сравненіе электростатической единицы съ электромагнитною.* Сказаннаго достаточно для того, чтобы найти отношеніе одной единицы къ другой. Но предварительно мы должны измѣрить зарядъ также и въ электромагнитныхъ единицахъ. Это мы можемъ сдѣлать при посредствѣ измѣренія тока; ибо величина тока—по самому своему опредѣленію—есть то количество электричества, которое въ теченіе одной секунды протекаетъ чрезъ сѣченіе проводника. На этомъ опредѣленіи можно основать слѣдующій способъ измѣренія количества электричества. Прежнія наши обкладки *O* и *U* могутъ—при помощи коммутатора—въ быстрой послѣдовательности попеременно то соединять-

ся съ батареею и при этомъ заряжаться, то соединяться съ амперметромъ и чрезъ него разряжаться. Электричество, которое вслѣдствіе этого разряда протекаетъ чрезъ амперметръ, дѣйствуетъ на его магнитную стрѣлку съ мгновенною силою, какъ бы сообщаетъ ей толчокъ; вслѣдствіе этого стрѣлка отбрасывается въ сторону.

Пусть нашъ коммутаторъ каждую секунду одинъ разъ заряжаетъ конденсаторъ и одинъ разъ разряжаетъ его; тогда стрѣлка амперметра каждую секунду получаетъ такой толчокъ и остается отклоненною на нѣкоторый уголъ; при сказанныхъ условіяхъ отклоненная стрѣлка показываетъ 1/5 милліонной доли ампера или 1/5 десятимилліонной доли абсолютной электромагнитной C. G. S. единицы. Помня наше опредѣленіе величины тока, мы должны въ электромагнитной системѣ принять за единицу количества электричества то его количество, которое, проходя въ теченіе секунды чрезъ сѣченіе проводника, даетъ токъ равный единицѣ въ этой системѣ. Слѣд. въ описанномъ выше опытѣ чрезъ амперметръ каждую секунду протекаетъ 1/5 десятимилліонной доли электромагнитной единицы электричества; иначе говоря, эта единица въ пятьдесятъ милліоновъ разъ больше нашего количества электричества. Въ нашемъ опытѣ, какъ мы его себѣ представляемъ, конденсаторъ разряжается одинъ разъ въ каждую секунду и чрезъ амперметръ протекаетъ 300 электростатическихъ единицъ положительнаго электричества по одному направленію (отъ *O* къ *U*) и 300 такихъ же единицъ отрицательнаго электричества по противоположному направленію (отъ *U* къ *O*). Но теченіе отрицательнаго электричества по послѣднему направленію эквивалентно теченію положительнаго электричества по первому направленію. Слѣд. одновременное теченіе 300 положительныхъ единицъ отъ *O* къ *U* и 300 отрицательныхъ единицъ отъ *U* къ *O* вмѣстѣ эквивалентно теченію 600 положительныхъ единицъ электричества въ первомъ направленіи. Измѣренія на амперметрѣ показываютъ, что электромагнитная единица электричества въ 50 милліоновъ разъ больше этого количества; слѣд. она въ 30 милліардовъ (3.10^{10}) разъ больше электростатической единицы электричества. Отсюда видно, что электрическія массы, обусловливающія замѣтныя взаимодѣйствія, при разрядѣ производятъ ничтожныя магнитныя дѣйствія. И наоборотъ при токѣ, производящемъ замѣтное магнитное дѣйствіе (напр. при 1 amp.), чрезъ проволоку въ одну секунду проходитъ

количество электричества неизмѣримо большее тѣхъ, которые мы встрѣчаемъ въ состоянiи равновѣсія, даже въ сильно заряженныхъ проводникахъ.

Вообще всякую электрическую величину можно измѣрять какъ въ электромагнитныхъ, такъ и въ электростатическихъ единицахъ; обозначая величину какою-нибудь буквою, мы будемъ прибавлять внизу значекъ m или s, смотря потому измѣрена-ли она въ электромагнитныхъ и въ электростатическихъ единицахъ; такъ магнитную массу мы будемъ обозначать m_m и m_s, электрическій зарядъ—e_m и e_s и т. д.

Теперь обратимъ вниманіе на слѣдующее обстоятельство. Когда данный зарядъ проводника измѣряютъ одинъ разъ электростатически, другой разъ электромагнитно, то получаются различныя числовыя величины, которыми характеризуются существенно различныя свойства заряда. Въ первомъ случаѣ мы разсматриваемъ покоющійся зарядъ, который дѣйствуетъ съ силою на такой же покоющійся зарядъ. Во второмъ случаѣ мы отвлекаемся отъ этихъ силъ взаимодѣйствія и разсматриваемъ силу, съ которою зарядъ, будучи въ движеніи, дѣйствуетъ на магнитный полюсъ. Для разъясненія сказаннаго возьмемъ аналогичный, хотя и несовсѣмъ тождественный примѣръ изъ области механики. Когда говорятъ о „массѣ" даннаго тѣла, то при этомъ разумѣютъ количество его вещества, которое измѣряется въ граммахъ; химикъ или купецъ, говоря о столькихъ-то граммахъ вещества, думаютъ исключительно о количествѣ матеріала. Но на тѣло дѣйствуетъ сила земного притяженія, сила пропорціональная его массѣ; благодаря этой силѣ тѣло падаетъ и обнаруживаетъ свой „вѣсъ"; это новый признакъ матеріи. Поэтому можно говорить о вѣсѣ столькихъ-то граммовъ; но тогда уже подъ этимъ слѣдуетъ разумѣть силу, съ которою тяжесть дѣйствуетъ на тѣла, т. е. произведеніе массы на ускореніе при свободномъ паденіи. Вѣсъ тѣла измѣряется въ единицахъ силы, т. е. въ динахъ; мы видѣли, что вѣсъ одного грамма равенъ приблизительно тысячѣ динъ. Слѣдовательно масса тѣла, умноженная на ускореніе силы тяжести, т. е. на 1000, равна вѣсу тѣла. Итакъ данное тѣло можно характеризовать одинъ разъ его массою—измѣренною въ граммахъ, другой разъ его вѣсомъ—измѣреннымъ въ динахъ.

Теперь докажемъ, что, какъ въ предыдущемъ сравненіи массы и вѣса тѣла, такъ и при измѣреніи заряда электростатически

и электромагнитно, мы имѣемъ въ виду существенно различныя вещи. Въ электромагнитной C. G. S. системѣ единица магнитной массы опредѣляется тѣмъ положеніемъ, что *два магнитныхъ полюса, отстоящихъ на 1 cm. другъ отъ друга, взаимодѣйствуютъ съ силою (F) равною произведенію массы одного полюса (m_m) на массу другого полюса (m'_m):*

$$F = m_m m'_m. \tag{1}$$

Совершенно аналогичное положеніе въ электростатической C. G. S. системѣ служитъ для опредѣленія единицы электрической массы: *два электрическихъ полюса, отстоящихъ на 1 cm. другъ отъ друга, взаимодѣйствуютъ съ силою (F) равною произведенію массы одного полюса (e_s) на массу другого полюса (e'_s):*

$$F = e_s e'_s. \tag{2}$$

Отсюда видно, что магнитная масса въ электромагнитной системѣ играетъ такую же роль, какъ электрическая масса или электрическій зарядъ—въ электростатической. Далѣе можно доказать такое положеніе: элементъ тока дѣйствуетъ на магнитный полюсъ, отстоящій отъ него на 1 cm., съ силою, которая стремится его вращать около тока; мы всегда будемъ представлять себѣ, что токъ направленъ по перпендикуляру къ линіи, соединяющей его съ полюсомъ; тогда *наша сила (F) пропорціональна магнитной массѣ полюса (m_m), длинѣ элемента (l) и величинѣ тока (i_m)*; въ этомъ состоитъ тк. наз. законъ Біо и Савара. Если магнитная масса полюса и токъ выражены въ электромагнитныхъ единицахъ, то сила взаимодѣйствія элемента тока и магнитнаго полюса равна произведенію длины перваго, величины тока и магнитной массы полюса:

$$F = m_m l i_m. \tag{3}$$

Сравнивая это опредѣленіе магнитной силы съ предыдущимъ, мы видимъ, что магнитная масса перваго случая замѣщена здѣсь произведеніемъ длины на токъ. Условимся представлять себѣ токъ, состоящимъ изъ отдѣльныхъ зарядовъ (ε_m), движущихся въ проволокѣ на разстояніи 1 cm. другъ отъ друга; пусть эти заряды движутся со скоростью v; тогда чрезъ каждое данное мѣсто проволоки проходятъ въ каждую секунду v зарядовъ; слѣдовательно токъ будетъ равняться величинѣ отдѣльнаго заряда, умноженной на скорость v:

(4) $$i_m = v\varepsilon_m.$$

Величина каждаго изъ отдѣльныхъ зарядовъ, слѣдующихъ другъ за другомъ на разстояніи 1 cm., равна полному заряду (e_m) элемента проволоки, раздѣленному на его длину (l), выраженную въ центиметрахъ:

(5) $$\varepsilon_m = \frac{e_m}{l}$$

или, подставляя сюда значеніе ε_m изъ (4),

(6) $$i_m l = v e_m.$$

Сравненіе закона электростатическихъ дѣйствій съ закономъ магнитныхъ дѣйствій показало намъ, что зарядъ, измѣренный электростатически (e_s), эквивалентенъ магнитной массѣ полюса, измѣренной электромагнитно (m_m); сравненіе закона магнитныхъ дѣйствій съ закономъ электромагнитныхъ дѣйствій показываетъ, что магнитная масса (m_m) эквивалентна $i_m l$ или по (6) $v e_m$; слѣд. e_s и $v e_m$ эквивалентны между собою и мы можемъ написать:

(7) $$v e_m = e_s.$$

Итакъ произведеніе скорости v на зарядъ, измѣренный въ электромагнитныхъ единицахъ, по своему существу есть тоже, что зарядъ, измѣренный въ электростатическихъ единицахъ.

Выше мы видѣли, что электромагнитная C. G. S. единица электричества въ 3.10^{10} разъ больше, чѣмъ электростатическая. Если одну и ту же величину измѣрить сперва меньшими, а затѣмъ бо́льшими единицами, то въ первомъ случаѣ получимъ большее число, чѣмъ во второмъ; такъ если при измѣреніи данной длины въ метрахъ получаемъ число 2000, то при измѣреніи ея въ километрахъ получимъ число 2. Точно также данный зарядъ, измѣренный въ электромагнитныхъ единицахъ, выражается меньшимъ числомъ, именно въ 3.10^{10} разъ меньшимъ, чѣмъ когда онъ измѣренъ въ электростатическихъ единицахъ. Такимъ образомъ приходимъ къ заключенію: *„значеніе даннаго заряда, измѣреннаго въ электромагнитныхъ C. G. S. единицахъ, помноженное на скорость 3.10^{10} cm/sec., равно значенію этого же заряда, измѣреннаго въ электростатическихъ C. G. S. единицахъ.*

Если припомнить, что зарядъ оказываетъ электромагнитныя дѣйствія только тогда, когда онъ движется, а электростатическое

дѣйствіе онъ оказываетъ, будучи въ покоѣ, то умноженіе на скорость для перехода отъ одного измѣренія къ другому не представляетъ ничего страннаго: въ одномъ случаѣ мы видимъ въ зарядѣ нѣчто совершенно иное, чѣмъ въ другомъ; точно также, говоря о массѣ тѣла или объ его вѣсѣ, мы имѣемъ въ виду существенно различные признаки его; заключеніе, сдѣланное по поводу этого сравненія, совершенно аналогично теперешнему.

4. *Соотношеніе со скоростью свѣта.* Въ системѣ C. G. S. скорость всегда измѣряется въ cm/sec. Скорость v, опредѣляющая отношеніе e_s/e_m, есть слѣд. 3.10^{10} cm/sec. или 300000 km/sec. Но это какъ разъ та скорость, съ которою распространяется свѣтъ. Это замѣчательное совпаденіе было уже давно извѣстно; его никакъ нельзя было считать случайнымъ, но долго не удавалось найти ему объясненія; оно было найдено Максвеллемъ. Съ одной стороны изъ своей теоріи электрическихъ и магнитныхъ явленій онъ вывелъ заключеніе, что та скорость, которая опредѣляетъ отношеніе двухъ различныхъ измѣреній одного заряда, равна скорости, съ которою распространяются электромагнитныя волны. Съ другой стороны Максвелль сдѣлалъ гипотезу, что свѣтъ состоитъ изъ волнъ того же рода [1]). Эта гипотеза была оправдана самымъ блестящимъ образомъ знаменитыми опытами Герца, которому первому удалось осуществить на опытѣ эти электромагнитныя волны и доказать, что онѣ обладаютъ всѣми существенными свойствами свѣтовыхъ волнъ. Такимъ образомъ становится понятнымъ, что скорость, опредѣляющая отношеніе электростатическаго и электромагнитнаго измѣренія одного заряда, равняется скорости свѣта.

---

[1]) См. стр. 60.

Скорость свѣта

А. Корню[1].

Скорость свѣта есть одна изъ важнѣйшихъ физическихъ постоянныхъ; ея числовое значеніе опредѣлено очень точно и притомъ по двумъ совершенно разнымъ способамъ; эти способы изложены во всѣхъ учебникахъ и потому мы не будемъ останавливаться на ихъ описаніи; отмѣтимъ только нѣкоторыя подробности и приведемъ оцѣнку результатовъ опытовъ.

1. *Способъ зубчатаго колеса* былъ изобрѣтенъ въ 1849 г. Физо; это былъ первый способъ, позволявшій опредѣлить скорость свѣта изъ *опыта*; прежде для этого пользовались *наблюденіями* надъ небесными явленіями. Опытъ Фуко вызываетъ невольное удивленіе не только въ виду трудностей разрѣшенной задачи, но и по чрезвычайной точности приборовъ: надо было образовать свѣтящую точку, почти микроскопическихъ размѣровъ; выходящіе изъ нея лучи надо было направить на находящееся за десятки километровъ зеркало, отразить ихъ отъ него и возвратить назадъ; все это казалось бы недостижимымъ, если бы не было осуществлено.

Физо сдѣлалъ опытъ между Сюреномъ и Монмартромъ (8633 m.); онъ пользовался только исчезновеніями 1-го порядка; его очень затрудняло непостоянство скорости зубчатаго колеса; полученное имъ число ($3 \cdot 15.10^{10}$ cm/sec.) было очень близко къ тому, которое давали астрономическія наблюденія; но онъ не претендовалъ на большую точность своихъ результатовъ и предполагалъ возобновить измѣренія подъ руководствомъ Араго; онъ даже заказалъ новые болѣе точные приборы; смерть Араго помѣшала продолженію опытовъ.

2. Въ 1874 г. Корню, пользуясь совѣтами Физо, предпри-

---

[1] По докладу на физическомъ конгрессѣ 1900 г.: Sur la vitesse de la lumière, par *A. Cornu*, membre de l' Institut.

нялъ вновь его опыты; скорость зубчатаго колеса, которая постепенно измѣнялась въ одномъ направленіи, непрерывно регистрировалась; въ опытахъ пользовались исчезновеніями различныхъ порядковъ: первыя опредѣленія, сдѣланныя между Политехническою школою и Монъ-Велеріаномъ (10310 m.), дали 2·985.10¹⁰ cm/sec. съ вѣроятною ошибкою въ 1/300; это число слишкомъ мало. Въ 1878 г. по порученію Парижской обсерваторіи были предприняты вторыя опредѣленія; опыты дѣлались между обсерваторіею и башнею Монтлери (22910 m.). Скорость свѣта въ пустотѣ окончательно опредѣлилась между 3·001 и 3·007.10¹⁰ cm/sec.; въ среднемъ $v = 3{\cdot}004.10^{10}$ cm/sec. съ приближеніемъ въ $\pm$ 1/1000.

3. Въ 1880 г. Дж. Юнгъ и Форбесъ дѣлали опыты по способу зубчатаго колеса, при чемъ они такъ неудачно „усовершенствовали" этотъ способъ, что ихъ результаты не имѣютъ никакой цѣнности; между прочимъ они были вынуждены приписать различныя скорости лучамъ различныхъ цвѣтовъ, а именно зеленымъ лучамъ бóльшую скорость, чѣмъ краснымъ.

4. *Способъ вращающагося зеркальца.* Въ 1838 г. Араго прочелъ въ Парижской академіи наукъ записку, озаглавленную „Système d' expériences à l'aide duquel la théorie d'émission et celle des ondes seront soumises à des épreuves décisives"; въ этой запискѣ Араго проектируетъ опыты съ вращающимся зеркальцемъ Уитстона, имѣющіе цѣлью сравнить скорость свѣта въ воздухѣ съ его скоростью въ водѣ; если въ качествѣ источника свѣта, говоритъ онъ, взять электрическую искру параллельную оси вращенія зеркальца и поставить длинную трубу (въ 28 m.), наполненную водою, такъ чтобы лучи отъ нижней половины свѣтящей линіи проходили чрезъ трубу, и затѣмъ достигали зеркальца, а лучи другой половины шли по воздуху, то при вращеніи зеркальца слѣва вправо около вертикальной оси и при покрытіи трубою верхней части свѣтящей линіи, послѣдняя должна представиться въ формѣ ╵—╷ по теоріи истеченія и въ формѣ ╷—╵ по теоріи волнъ. Араго утверждалъ даже, что при помощи проектируемаго прибора „можно будетъ съ извѣстною точностью измѣрить абсолютную скорость свѣта, не прибѣгая къ небеснымъ явленіямъ"; такое заявленіе было очень смѣлымъ для своего времени. Араго не осуществилъ своего проекта; это было сдѣлано лишь въ началѣ пятидесятыхъ годовъ Фуко и Физо.

5. Обыкновенно всю честь этихъ опытовъ приписываютъ Фуко; но справедливость требуетъ рядомъ съ его именемъ по-

ставить и имя Физо. Работавшіе долгіе годы совмѣстно Физо и Фуко общими силами старались рѣшить задачу Араго, пользуясь его совѣтами. Мысль вернуть лучи въ точку ихъ отправленія принадлежитъ Фуко; онъ придумалъ для этого поставить *плоское* зеркало, которое бы возвращало лучи на вращающееся зеркальце; оба сотрудника вскорѣ убѣдились, что для полученія неподвижнаго изображенія при помощи возвращенныхъ лучей, это плоское зеркало надо брать очень узкимъ такъ сказать линейнымъ, вслѣдствіе чего яркость изображенія была ничтожна. Тогда-то Фуко придумалъ взять это вспомогательное зеркало *вогнутымъ* съ центромъ на оси вращающагося зеркальца; съ такимъ зеркаломъ изображеніе, даваемое возвращенными лучами, становится совершенно неподвижнымъ, каково бы положеніе вращающагося зеркальца ни было, и яркость этого изображенія можно сдѣлать какъ угодно значительнымъ. Въ этотъ моментъ развитія вопроса Фуко отдѣлился отъ Физо и затѣмъ оба продолжали работать порознь. При помощи Фромана Фуко устроилъ ту турбинку, которая и до сихъ поръ употребляется для быстраго вращенія зеркальца. Физо взялъ себѣ въ помощники Брегета. Послѣ этого между соперниками начинается настоящій steeple-chase для достиженія цѣли, поставленной Араго: оба они явились въ одно засѣданіе академіи наукъ (6 мая 1850 г.) и представили свои приборы— тождественные въ оптическомъ отношеніи; но Фуко кромѣ того доложилъ о результатахъ сравненія скоростей свѣта въ воздухѣ и въ водѣ. Этимъ сравненіемъ теоріи истеченія былъ нанесенъ смертельный ударъ, а теоріи волнъ доставлено полное торжество; по выраженію Араго этотъ опытъ „математически разрѣшалъ одинъ изъ величайшихъ и наиболѣе спорныхъ вопросовъ натуральной философіи".

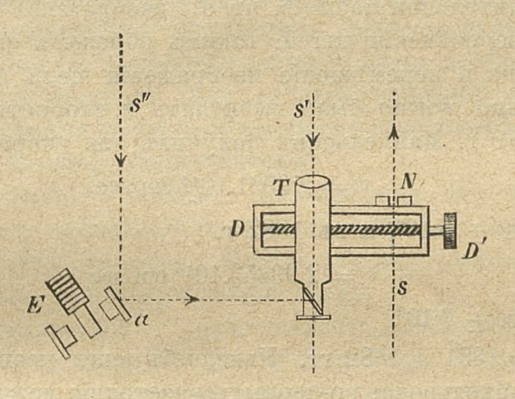
Только въ 1862 г. Фуко воспользовался своимъ приборомъ для опредѣленія абсолютной скорости свѣта; свой опытъ онъ сдѣлалъ *въ комнатѣ*: разстояніе между вращающимся и вогнутымъ зеркалами лучи проходили не по прямому направленію, а по ломанной линіи (при помощи четырехъ вспомогательныхъ зеркалъ).

Въ 1879 и 1882 гг. опыты по способу вращающагося зеркальца были повторены въ Америкѣ Майкельсономъ. Разстоянія и всѣ размѣры прибора были значительно увеличены, вслѣдствіе чего перемѣщеніе изображенія (бывшее у Фуко лишь 0·7 mm.) могло быть гораздо точнѣе измѣрено; кромѣ того были введены

нѣкоторыя усовершерствованія въ поддержаніи постоянной скорости вращенія зеркальца и въ опредѣленіи этой скорости.

Лучи солнечнаго свѣта s (фиг. 1) направлялись геліостатомъ чрезъ неподвижную вертикальную щель N на вращающееся зеркальце; возвращающіеся отъ него лучи s' принимались въ трубу T, поставленную на дѣлительной машинѣ DD', которою и опредѣлялось перемѣщеніе изображенія щели.

Вращающееся зеркальце было укрѣплено на оси воздушной турбины, приводимой въ движеніе сжатымъ воздухомъ, впускаемымъ въ нее изъ газометра; въ трубкѣ, соединявшей газометръ съ турбиною, имѣлся кранъ, который можно было повертывать



фиг. 1.

съ мѣста наблюденія и такимъ образомъ регулировать скорость вращенія зеркальца. Чтобы слѣдить за этою скоростью, въ трубѣ T былъ вставленъ гауссовскій окуляръ (стекло, поставленное передъ боковымъ отверстіемъ трубы наклонно къ ея оси подъ 45°). Лучи s'', отражаемые отъ вращающагося зеркальца, попадали на зеркало a, прикрѣпленное къ вѣтви электромагнитнаго камертона E; послѣ отраженія отъ него эти лучи падали на стекло гауссовскаго окуляра и, здѣсь еще разъ отразившись, направлялись въ глазъ наблюдателя. Если камертонъ и вращающееся зеркальце неподвижны, наблюдатель видитъ изображеніе этого зеркальца; если же камертонъ качается, изображеніе растягивается въ свѣтлую вертикальную полоску; когда зеркальце начинаетъ вращаться, эта полоска разрывается на нѣсколько частей, перемѣщающихся по одной вертикальной прямой; если наконецъ зеркальце дѣлаетъ столько же оборотовъ сколько качаній въ то же время

совершаетъ камертонъ, то всѣ изображенія совпадаютъ и дѣлаются неподвижными; то же наблюдается и въ томъ случаѣ, когда число оборотовъ зеркальца въ 2, 3,... раза меньше числа колебаній камертона (изображенія образуются не при каждомъ оборотѣ зеркальца, а чрезъ 2, 3,...; но этого глазъ конечно не замѣчаетъ: изображенія кажутся непрерывными); если же число оборотовъ зеркальца въ 2, 3,... раза больше колебаній камертона, то въ полѣ зрѣнія видно 2, 3,... неподвижныхъ изображеній расположенныхъ на одной вертикали. Передъ каждымъ наблюденіемъ притокъ воздуха въ турбину регулировали такъ, чтобы изображенія сдѣлались неподвижными; послѣ чего трубу T ставили такъ на дѣлительной машинѣ, чтобы изображеніе щели N приходилось на пересѣченіи нитей; такимъ образомъ скорость вращенія зеркальца и перемѣщеніе изображенія щели были извѣстны; слѣдовательно можно было вычислить и скорость свѣта.

Въ 1879 г. Майкельсонъ получилъ для скорости свѣта

$$v = 2{\cdot}9991.10^{10} \text{ cm/sec}$$

съ ошибкою $\pm 5{\cdot}10^6$, а въ 1882 г.

$$v = 2{\cdot}99853.10^{10} \text{ cm/sec}$$

съ ошибкою $\pm 6{\cdot}10^6$.

7. Въ 1881 и 1882 гг. Ньюкомбъ еще усовершенствовалъ приборъ Майкельсона; во-первыхъ разстояніе между источникомъ свѣта и вращающимся зеркальцемъ было увеличено (до 2500 m. и наконецъ до 3721 m.); во-вторыхъ зеркальце вращалось сперва въ одну сторону, затѣмъ въ другую; такимъ образомъ измѣрялось удвоенное перемѣщеніе изображенія щели. Окончательный результатъ очень согласныхъ измѣреній Ньюкомба представляется числомъ 299869 klm. $\pm$ 30 klm., т. е. съ точностью до 1/10000. Впрочемъ подробный и обстоятельный разборъ всѣхъ условій опытовъ Ньюкомба приводитъ къ убѣжденію, что эту ошибку слѣдуетъ оцѣнивать по крайней мѣрѣ въ 10 разъ больше.

8. Такимъ образомъ наиболѣе вѣроятныя значенія скорости свѣта опредѣляются въ 300400 klm/sec. по способу зубчатаго колеса и въ 299800 klm/sec. по способу вращающагося зеркальца; слѣдовательно въ среднемъ имѣемъ:

$$v = 3{\cdot}0013.10^{10} \text{ cm/sec}$$

съ точностью до 1/1000.

Максвеллевское v

Г. Абрагама [1]).

1. Максвелль обозначилъ чрезъ v отношеніе электромагнитной единицы заряда къ электростатической единицѣ той же величины [2]); это отношеніе и называется „максвеллевскимъ v"; оно представляетъ также отношеніе единицъ тока и обратное отношеніе единицъ потенціала (или электродвижущей силы); наконецъ v^2 представляетъ отношеніе единицъ электроемкости и обратное отношеніе единицъ сопротивленія.

Максвеллевское v зависитъ отъ природы окружающей среды, а также отъ принятыхъ основныхъ единицъ; его размѣръ— LT^{-1}, т. е. размѣръ скорости. Итакъ максвеллевское v есть скорость, зависящая отъ окружающей среды.

2. Максвеллевское v представляетъ скорость, имѣющую важное физическое значеніе. Когда Максвелль теоретически изслѣдовалъ вопросъ о томъ какъ электрическое возмущеніе или электрическія колебанія распространяются въ свободномъ пространствѣ или вдоль проволоки, то онъ пришелъ къ заключенію, что они распространяются со скоростью, равною отношенію электромагнитной и электростатической единицъ заряда, т. е. равною этому v.

Бути даетъ слѣдующее элементарное доказательство этого положенія. Представимъ себѣ цилиндрическій проводникъ, сначала незаряженный; пусть одно сѣченіе его вдругъ заряжается до нѣкотораго потенціала и сейчасъ же опять разряжается. Этотъ зарядъ или, какъ мы будемъ выражаться, электрическое возмущеніе распространяется по поверхности проводника со скоростью v, которую и постараемся вычислить. Если мы предполагаемъ, что распространеніе исключительно поверхностное, то надо при-

---

1) По докладу на физическомъ конгрессѣ 1900 г.: Les mesures de la vitesse v par *H. Abraham* prof. au Lycée Louis-le-Grand.

2) См. стр. 138.

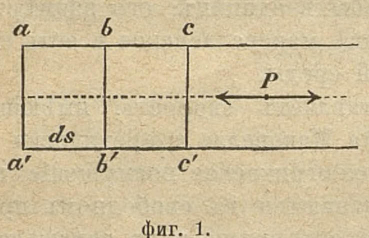
нять, что на оси цилиндра полная электродвижущая сила равна нулю; но здѣсь она складывается изъ электрической силы F и наведенной электродвижущей силы E.

Пусть въ моментъ t положительный зарядъ e_s, выраженный въ электростатическихъ единицахъ, распредѣленъ по длинѣ ds поверхности цилиндра; въ другихъ мѣстахъ цилиндръ не заряженъ. Опредѣлимъ электрическую силу F въ точкѣ P (фиг. 1) оси цилиндра, отстоящей на x отъ заряда (это разстояніе x выберемъ значительнымъ сравнительно съ радіусомъ цилиндра); искомая сила будетъ:

(1) $$F = \frac{e_s}{x^2};$$

она отталкиваетъ положительный полюсъ, находящійся въ P, и потому направлена вправо.

Назовемъ v отношеніе электромагнитной единицы къ электростатической; данный зарядъ, представляемый числомъ e_s въ электростатической системѣ единицъ, выразится въ электромагнитной системѣ числомъ e_s/v. Нашъ зарядъ распредѣленъ на ab, по длинѣ ds; для своего перемѣщенія на разстояніе ds, т. е. изъ ab въ bc, онъ употребитъ время $\theta = ds/v$; при этомъ чрезъ сѣченіе bb' пройдетъ электричество e_s/v; обозначая чрезъ i соотвѣтствующій токъ, мы можемъ то же количество электричества представить какъ $i\theta$; слѣд.



фиг. 1.

$$i\theta = \frac{e_s}{\mathrm{v}};$$

откуда

(2) $$i = \frac{e_s}{\mathrm{v}\theta} = \frac{e_s}{ds}\,\frac{v}{\mathrm{v}}.$$

Въ P наводится электродвижущая сила приближающимся элементомъ тока $i.dx$; эта электродвижущая сила стремится вызвать токъ противоположнаго направленія; слѣд. въ P развивается электродвижущая сила E, направленная влѣво. Для опредѣленія этой электродвижущей силы надо знать коэффиціентъ индукціи эле-

мента тока ab на элементъ тока длиною 1, помѣщенный въ P; по формулѣ Неймана этотъ коэффиціентъ

$$M = \frac{ds}{x},$$

а искомая электродвижущая сила, выраженная въ электромагнитныхъ единицахъ, будетъ

$$E_m = -i\frac{\partial M}{\partial t} = -i\frac{\partial\left(\frac{ds}{x}\right)}{\partial t} = i\frac{ds}{x^2}\frac{dx}{\partial t};$$

но dx/dt есть не что иное, какъ скорость распространенія заряда, которую мы уже обозначили v; слѣд.

$$E_m = vi\frac{ds}{x^2}$$

или по (2):

$$E_m = -\frac{e_s}{x^2}\frac{v^2}{\mathrm{v}}.$$

Вотъ сила, вызванная индукціею и приложенная къ электромагнитной единицѣ заряда; чтобы найти ту же силу, приложенную къ электростатической единицѣ заряда, надо предыдущее выраженіе раздѣлить на v; такимъ образомъ

$$E = \frac{E_m}{\mathrm{v}} = -\frac{e_s}{x^2}\frac{v^2}{\mathrm{v}^2};$$

такъ какъ $E+F=0$, то

$$\frac{e_s}{x^2} = \frac{e_s}{x^2}\frac{\mathrm{v}^2}{v^2},$$

откуда находимъ:

$$v = \mathrm{v},$$

т. е. электрическое возмущеніе распространяется вдоль проводника со скоростью равною отношенію электромагнитной и электростатической единицъ.

3. Для опредѣленія максвеллевскаго v существуетъ много способовъ. „Для опредѣленія числового значенія v, пишетъ самъ Максвелль, необходимо и достаточно измѣрить электростатически и электромагнитно одну изъ слѣдующихъ величинъ: электрическій зарядъ, токъ, сопротивленіе электродвижущую силу, элек-

троемкость. Стало быть имѣются пять способовъ, ведущихъ къ опредѣленію v".

Мы опишемъ здѣсь только тѣ опыты, которые даютъ наиболѣе вѣрные результаты.

4. *Способъ электрическаго заряда.* Первое опредѣленіе числового значенія v было сдѣлано Р. Кольраушемъ и В. Веберомъ въ 1856 г., т. е. задолго до теоретическаго разъясненія значенія этой величины. Опытъ состоялъ въ томъ, что проводникъ извѣстной электроемкости заряжался; къ нему подносился шарикъ, зарядъ котораго затѣмъ опредѣлялся на крутильныхъ вѣсахъ; зная электроемкость шарика, можно было вычислить въ электростатическихъ единицахъ и зарядъ, оставшійся въ данномъ проводникѣ. Наконецъ этотъ послѣдній разряжали чрезъ абсолютный гальванометръ и такимъ образомъ опредѣляли тотъ же зарядъ въ электромагнитныхъ единицахъ.

5. *Способъ электроемкости* состоитъ въ измѣреніи электроемкости конденсатора въ электростатическихъ и электромагнитныхъ единицахъ. Емкость конденсатора съ охраннымъ кольцомъ, выраженная въ электростатическихъ единицахъ, вычисляется (по формулѣ $C = S/4\pi д$, гдѣ S—площадь одной изъ обкладокъ и $д$—разстояніе между обкладками); къ этому надо прибавить еще емкость соединительныхъ проволокъ. Та же емкость, выраженная въ электромагнитныхъ единицахъ, опредѣляется изъ опыта: обкладки конденсатора заряжаются до опредѣленной разности потенціаловъ и затѣмъ разряжаются чрезъ гальванометръ (заряды и разряды повторяются періодически при помощи электромагнитнаго камертона).

Гимштедтъ находитъ какъ среднее изъ своихъ опытовъ:

$$v = 3{\cdot}0057.10^{10}.$$

Роза употреблялъ сферическій конденсаторъ; соединительныя проволоки измѣняли емкость конденсатора на 1/11; высота колебаній камертона-прерывателя имѣла вліяніе на опытъ: при рѣдкихъ разрядахъ (32) для v получалось число на 1/1000 больше, чѣмъ при частыхъ разрядахъ (130). Въ среднемъ изъ 51 опыта получилось:

$$v = 3.10^{10}$$

съ вѣроятною ошибкою въ 1/1000.

Дж. Дж. Томсонъ, дѣлая опыты по тому же способу, упо-

треблялъ цилиндрическій конденсаторъ и вращающійся коммутаторъ (вмѣсто камертона); средній результатъ его опытовъ:

$$v = 2{\cdot}996.10^{10}.$$

Абрагамъ пользовался плоскимъ конденсаторомъ изъ посеребренныхъ зеркальныхъ стеколъ; серебро счищалось по тонкому кольцу (въ 0·1 mm. ширины) и слѣд. образовывалось охранное кольцо. Между дискомъ (внѣ тѣхъ частей, которыя составляли обкладки) клались кусочки изолятора; разстояніе между обкладками измѣрялось особымъ оптическимъ способомъ. Среднее изъ 14 измѣреній было:

$$v = 2{\cdot}9913.10^{10}.$$

6. *Электрометрическій способъ.* Электродвижущую силу можно измѣрить съ одной стороны въ электростатическихъ единицахъ при помощи абсолютнаго электрометра, а съ другой стороны—въ электромагнитныхъ единицахъ, опредѣляя на абсолютномъ электродинамометрѣ величину тока, даваемаго этою электродвижущею силою въ цѣпи опредѣленнаго сопротивленія.

Максвелль, дѣлавшій первый опыты такого рода, соединилъ вмѣстѣ подвижныя части электрометра и электродинамометра и электростатическое притяженіе уравновѣшивалъ электродинамическимъ притяженіемъ.

Опыты Максвелля не дали надежныхъ результатовъ. Въ 1896 году Гурмузеску повторилъ эти опыты, воспользовавшись всѣми усовершенствованіями современной электротехники. Машина Грамма (въ 2000 volt) была единственнымъ источникомъ электричества; соединяя ея борны большимъ сопротивленіемъ R, токъ ослабляли до 1/10 amp., который пропускали чрезъ электродинамометръ; въ то же время электрометръ соединяли съ концами этого сопротивленія R. Электродинамометръ былъ образованъ изъ маленькой бобинки, подвѣшенной внутри горизонтальнаго соленоида; эта бобинка соединялась неизмѣнно съ подвижною частью абсолютнаго электрометра. Изъ семидесяти пяти опытовъ было найдено:

$$v = 3{\cdot}001.10^{10}$$

съ точностью до 1/1000.

Упомянемъ еще объ опытахъ Перо и Фабри; они устроили абсолютный электрометръ, обкладки котораго были сдѣланы изъ плоскихъ стеколъ, покрытыхъ прозрачнымъ слоемъ серебра; вслѣд-

ствіе этого толщину воздушнаго слоя можно было опредѣлить оптически. Притягивающая поверхность образовывалась посеребреннымъ стеклянымъ дискомъ въ 6 cm. діаметра, который поддерживался тремя очень чувствительными пружинками. Обѣ поверхности располагались параллельно между собою въ разстояніи около 0·1 mm. одна отъ другой. При такихъ размѣрахъ десятка два вольтъ производятъ совершенно доступное измѣренію притяженіе (порядка въ дециграммъ). Измѣривъ такимъ электрометромъ разность потенціаловъ на концѣ батареи аккумулятора, сравниваютъ ее съ разностью потенціаловъ на концахъ элемента-эталона Латимеръ-Кларка; для такого сравненія употреблялся потенціометръ; такимъ образомъ электродвижущая сила Латимера-Кларка въ электростатическихъ единицахъ была найдена $= 4{\cdot}8451.10^{-3}$. Затѣмъ авторы измѣрили электродвижущую силу эталона въ вольтахъ электролитическимъ путемъ, принимая электрохимическій эквивалентъ серебра = 1·118 mgr.; такимъ образомъ они нашли ту же электродвижущую силу равною 1·4522 volt или $1{\cdot}4522.10^{8}$ электромагнитныхъ единицъ. Эти числа даютъ:

$$v = 2{\cdot}9973.10^{10}.$$

7. Итакъ различные опыты, которые были описаны, даютъ для v слѣдующія числовыя значенія:

Гимштедтъ	$3{\cdot}0057.10^{10}$
Роза	$3{\cdot}0000.10^{10}$
Дж. Дж. Томсонъ	$2{\cdot}9960.10^{10}$
Абрагамъ	$2{\cdot}9913.10^{10}$
Гурмузеску	$3{\cdot}0010.10^{10}$
Перо и Фабри	$2{\cdot}9973.10^{10}$.

Среднее изъ этихъ и многихъ другихъ опредѣленій:

$$v = 3{\cdot}0001.10^{10}\ \mathrm{cm/sec}.$$

Вотъ значеніе максвеллевскаго v на основаніи сдѣланныхъ пока измѣреній; по всей вѣроятности это число не отличается отъ истиннаго болѣе, какъ на 1/1000.

Скорость электромагнитныхъ волнъ

Р. Блондло и Ш. Гюттона [1].

1. Въ засѣданіи 2 февраля 1888 года Берлинской академіи наукъ доложено было о чрезвычайно важномъ открытіи: Генрихъ Герцъ сообщалъ, что электромагнитныя дѣйствія распространяются въ воздухѣ со скоростью того же порядка, какъ скорость свѣта. Этотъ фактъ несомнѣннымъ образомъ устанавливался опытами знаменитаго физика; онъ былъ менѣе счастливъ, когда захотѣлъ опредѣлить точное значеніе этой скорости: недостатки помѣщенія, которымъ онъ располагалъ, ошибка въ вычисленіяхъ, которую онъ самъ назвалъ *фатальною*, помѣшали Герцу достичь цѣли; въ то же самое время Саразеномъ и Де-ла-Ривомъ былъ открытъ многократный резонансъ—явленіе, чрезвычайно ослажнявшее вопросъ.

2. Первыя надежныя опредѣленія были сдѣланы Блондло въ 1891 г. Къ этому времени было уже установлено, что длина наблюдаемой нами волны опредѣляется резонаторомъ (а не вибраторомъ) и что въ извѣстной формулѣ

$$\lambda = vT,$$

связывающей скорость распространенія волны (v) съ ея длиною (λ) и періодомъ (T), надо за λ взять длину волны, свойственной резонатору.

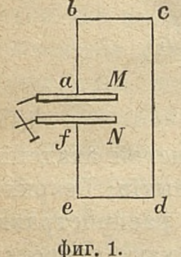
Блондло устроилъ такой резонаторъ, въ которомъ періодъ электрическихъ колебаній (T) можно было опредѣлить очень точно; этотъ резонаторъ состоялъ изъ конденсатора NM (фиг. 1), обкладки котораго были соединены проволокою $abcdef$, согнутою въ прямоугольникъ. Періодъ колебаній въ такой цѣпи опредѣляется формулою Томсона:

---

[1]) По докладу на физическомъ конгрессѣ 1900 г.: Sur la détermination de la vitesse de propagations des ondulations électromagnétiques par *R. Blondlot* et *C. Gutton.*

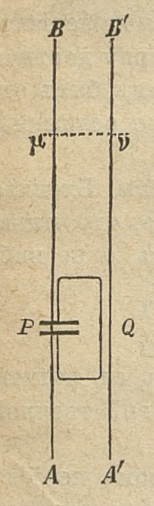
$$T = 2\pi\sqrt{CL},$$

гдѣ C—электроемкость конденсатора MN и L—коэффиціентъ самонаведенія прямоугольной цѣпи $abcdef$; электроемкость C опредѣлялась изъ опыта; коэффиціентъ самонаведенія вычислялся по формулѣ Маскара; такимъ образомъ T, входящее въ форм. 1, было опредѣлено.



фиг. 1.

Оставалось найти λ. Это можно было сдѣлать, наблюдая электромагнитныя волны или при ихъ распространеніи вдоль проволокъ, или при ихъ распространеніи въ открытомъ пространствѣ; Блондло выбралъ распространеніе вдоль проволокъ, какъ наиболѣе выгодное (такія волны доступны наблюденію на большемъ разстояніи отъ вибратора). Мѣдныя проволоки AB и $A'B'$ (фиг. 2) длиною около 25 m. натянуты горизонтально въ разстояніи нѣсколько большемъ стороны bc резонатора; поперекъ этихъ проволокъ клалась соединявшая ихъ между собою проволочка $\mu\nu$; такимъ образомъ получалась непрерывная цѣпь $A\mu\nu A'$, начинающаяся въ A и окончивающаяся въ A'. Вибраторъ, помѣщенный около AA', посылаетъ герцевскія волны вдоль линіи. Резонаторъ помѣщенъ въ PQ (въ разстояніи 10 m. отъ BB') длинными сторонами be и cd въ плоскости проволокъ AA' и BB' и между ними. Конденсаторъ резонатора снабженъ искровымъ микрометромъ (соединенныя съ обкладками конденсатора острія, видимыя слѣва на фиг. 1).



фиг. 2.

Если проволочка $\mu\nu$ помѣщена близъ резонатора, въ этомъ микрометрѣ происходитъ рядъ искръ; при удаленіи проволоки $\mu\nu$ отъ резонатора, искры въ извѣстный моментъ прекращаются; при большемъ удаленіи искры опять появляются. Пусть поперечная проволочка занимаетъ положенія $\mu_1\nu_1$, $\mu_2\nu_2$, $\mu_3\nu_3$, . . . , когда искры въ микрометрѣ прекращаются въ 1-й, 2-й, 3-й, . . . разъ; тогда длина $P\mu_1\nu_1 Q_1$ равна половинѣ длины волны, свойственной резонатору (т. е. $\lambda/2$), $P\mu_2\nu_2 Q$ равна λ, $P\mu_3\nu_3 Q$ равна $3\lambda/2$ и т. д.

Употребляя четыре разныхъ резонатора, Блондло дѣлалъ опытъ съ разными волнами (длины коихъ измѣнялись отъ 8·94 m.

до 33·7 m.); результаты его колебались между 2·955 и 3·123; въ среднемъ онъ получилъ:

$$v = 3{\cdot}022.10^{10}\ \mathrm{cm/sec.}$$

Изъ этихъ опытовъ можно заключить, что электромагнитныя волны независимо отъ своей длины распространяются съ постоянною скоростью близкою къ 3·022.10¹⁰ cm/sec.

3. Въ 1893 г. Блондло предпринялъ опыты надъ распространеніемъ электрическаго возмущенія; такъ какъ эти опыты были описаны въ нашемъ журналѣ [1]), то напомнимъ только ихъ результатъ:

$$v = 2{\cdot}972.10^{10}\ \mathrm{cm/sec.}$$

4. Въ 1895 г. Троубриджъ и Дюанъ повторили опыты Блондло, но періодъ T опредѣляли непосредственнымъ опытомъ; для этого они увеличили размѣры прибора и вслѣдствіе того замедлили колебанія; быстро вращающееся зеркальце давало на чувствительной пластинкѣ изображеніе колебательной искры въ микрометрѣ; съ помощью этой фотографіи (зная скорость вращенія зеркальца и его разстояніе отъ чувствительной пластинки) можно было вычислить время между двумя послѣдовательными искрами, т. е. періодъ электрическихъ колебаній въ резонаторѣ [2]); измѣривъ еще длину волны, можно было вычислить и скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ; въ среднемъ получилось:

$$v = 3{\cdot}003.10^{10}\ \mathrm{cm/sec.}$$

5. Макъ-Линъ въ 1899 г. опредѣлилъ скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ въ свободномъ воздухѣ.

Вибраторъ и резонаторъ были по формѣ и размѣрамъ совершенно одинаковы: каждый изъ нихъ образовывался изъ емкости (стекло, обклеенное съ двухъ сторонъ станіолемъ) и изъ проводниковъ съ самонаведеніемъ (двухъ параллельныхъ проволокъ, оканчивающихся жестяными листами); въ резонаторѣ концы этихъ проволокъ соединялись съ когереромъ; послѣдній вмѣстѣ съ гальваническимъ элементомъ и миллиамперметромъ образовывали цѣпь. Передъ вибраторомъ въ разстояніи 12 m. отъ него ставилось вертикально металлическое зеркало; между вибраторомъ и этимъ зеркаломъ перемѣщался (поставленный на телѣжку) резонаторъ. Вибраторъ работалъ непрерывно и очень правильно;

---

[1]) *Физическое Обозрѣніе*, томъ 1 (1900), стр. 110. [2]) См. стр. 52.

дѣйствіемъ испускаемыхъ имъ волнъ сопротивленіе когерера уменьшалось; въ трехъ мѣстахъ, отстоящихъ другъ отъ друга на 296 cm., это дѣйствіе наименьшее; это разстояніе равно половинѣ искомой волны.

Искра вибратора фотографировалась съ помощью вращающагося зеркальца. Скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ въ свободномъ воздухѣ была опредѣлена въ

$$v = 2{\cdot}991.10^{10} \text{ cm/sec.}$$

5. Сведемъ вмѣстѣ всѣ результаты:

Блондло (1-ые оп.). . . .	$3{\cdot}022.10^{10}$ cm/sec.
Блондло (2-ые оп.). . . .	$2{\cdot}972.10^{10}$
Троубриджъ и Дюанъ . .	$3{\cdot}003.10^{10}$
Макъ-Линъ.	$2{\cdot}991.10^{10}$

Приведенныя числа получены совершенно различными способами и замѣчательно близки между собою; однако о степени точности ихъ трудно судить; среднее изъ нихъ:

$$v = 2{\cdot}997.10^{10} \text{ cm/sec.}$$

почти равно отношенію единицъ ($v = 3{\cdot}0001.10^{10}$), какъ того требуетъ теорія Максвелля, а также скорости свѣта ($3{\cdot}0013.10^{10}$), какъ того требуетъ электромагнитная теорія свѣта.

Практическая физика въ средней школѣ

Ф. И. Ростовцева [1].

III. Задачи по механикѣ.

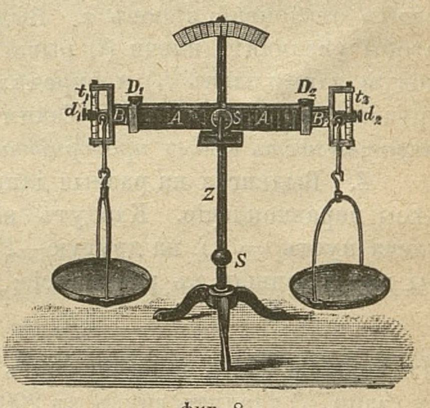
14) *Провѣрить теорію вѣсовъ.*

Приборы. Модель вѣсовъ (Буффа); наборъ разновѣсокъ; тара (песокъ, мелкая дробь и т. п.); тѣло граммовъ въ 300; линейная шкала.—Въ указанной модели вѣсовъ возможно: 1) точки подвѣса чашекъ приводить на одну линію съ точкою *s* (фиг. 1) опоры коромысла, для чего надо только винтами d_1 и d_2 закрѣпить

---

[1]) Продолженіе; см. стр. 96.

бруски съ точками привѣсовъ (поперечными проволочками) на среднемъ дѣленіи масштабовъ t_1 и t_2 или же на какомъ-либо иномъ; 2) удлинять или укорачивать плечи коромысла, для чего отпускаютъ винты D_1 и D_2 и стержни B_1 и B_2 выдвигаютъ наружу или вдвигаютъ внутрь полаго стержня AA; 3) перемѣщать центръ тяжести вѣсовъ относительно точки опоры s, для чего вдоль стержня Z перемѣщаютъ тяжелый шаръ S.



фиг. 8.

Опытъ 1. Точки привѣсовъ помѣщаютъ въ среднемъ положеніи на шкалахъ t_1 и t_2, т. е. на одной прямой съ s, и дѣлаютъ оба плеча равными. Кладутъ на одну чашку гирьку въ 1 gr. и опредѣляютъ по шкалѣ отклоненіе α, которое и принимаютъ за мѣру чувствительности вѣсовъ. Кладутъ затѣмъ на одну чашку грузъ въ 200 gr., а на другую въ 201 gr., находятъ прежнее отклоненіе α; слѣд. *чувствительность вѣсовъ не зависитъ отъ ихъ нагрузки.*

Перемѣщаютъ одну изъ точекъ подвѣса чашекъ изъ средняго положенія въ другое. На чашку, точка подвѣса которой осталась не перемѣщенною, кладутъ грузъ въ 1 gr. и наблюдаютъ отклоненіе α_1. Кладутъ на обѣ чашки еще по 200 gr. и находятъ новое отклоненіе α_2, которое тѣмъ больше отличается отъ α_1, чѣмъ больше перемѣщена точка подвѣса чашки отъ средняго положенія; слѣд. *теперь чувствительность вѣсовъ зависитъ отъ нагрузки.*

2. Сдѣлавъ вѣсы равноплечими и расположивъ точки подвѣсовъ чашекъ на одной прямой съ точкою опоры, перемѣщаютъ шаръ S въ самое верхнее изъ возможныхъ для него положеній. Положивъ на одну чашку грузъ въ 1 gr., опредѣляютъ отклоненіе α. Перемѣщая шаръ S все ниже и ниже, находятъ все меньшее и меньшее отклоненіе α_1, слѣд. *чувствительность вѣсовъ уменьшается съ увеличеніемъ разстоянія центра тяжести коромысла отъ точки опоры.* Отмѣчая при этомъ періоды качаній, можно замѣтить, что *коромысло качается тѣмъ быстрѣе, чѣмъ ниже центръ тяжести*, т. е. *чѣмъ вѣсы менѣе чувствительны.*

3. Стержни B_1 и B_2 совершенно вдвигаютъ внутрь A и измѣряютъ плечи коромысла. Шаръ S перемѣщаютъ возможно выше. Положивъ затѣмъ на одну чашку грузъ въ 1 gr., опредѣляютъ отклоненіе вѣсовъ α. Выдвигаютъ стержни B_1 и B_2 такъ, чтобы увеличить плечи (l) рычага на равныя длины, измѣряютъ новую длину плечъ (l_1) и опредѣляютъ отклоненіе α_1, вызываемое грузомъ въ 1 gr. и т. д. Такимъ образомъ находятъ, что *чувствительность вѣсовъ пропорціональна длинѣ плечъ.*

4. Выдвигая на разныя длины стержни B_1 и B_2, получаютъ вѣсы неравноплечіе. Кладутъ на одну чашку грузъ P_1 (длина плеча пусть $= l_1$), на другую—P_2 (длина плеча $= l_2$) такъ, чтобы вѣсы пришли въ равновѣсіе; тогда отношеніе плечъ

$$l_1/l_2 = P_2/P_1.$$

Измѣряютъ l_1 и l_2 и вычисляютъ ихъ отношеніе. На одну чашку (напр. l_1) кладутъ грузъ въ 200 gr., на другую $200+p$ gr., тогда

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{200+p}{200} = 1 + \frac{p}{200}.$$

5. Опредѣлить массу тѣла на неравноплечихъ вѣсахъ.

a) Опредѣливъ по предыдущему отношеніе плечъ l_1/l_2, кладутъ на одну чашку (l_1) испытуемое тѣло, на другую (l_2)—уравновѣшивающія его разновѣски массы P, тогда масса тѣла $x = Pl_2/l_1$.

b) Положивъ испытуемое тѣло на одну чашку, на другую кладутъ уравновѣшивающую тару (песокъ, дробь и т. п.). Снимаютъ тѣло и на его мѣсто кладутъ разновѣски съ такою массою P, чтобы вѣсы опять пришли въ равновѣсіе. Тогда масса тѣла $= P$. Въ этомъ состоитъ методъ тарированія.

c) Кладутъ на одну чашку тѣло, на другую—уравновѣшивающій грузъ P_1; перемѣщаютъ тѣло на вторую чашку, а на первую кладутъ уравновѣшивающій грузъ P_2, тогда масса тѣла $x = \sqrt{P_1 P_2}$ или приблизительно $x = (P_1+P_2)/2$. Въ этомъ состоитъ методъ двойного взвѣшиванія.

15) *Опредѣлить массу тѣла и его плотность.*

Приборы: вѣсы и разновѣски.

Опытъ. Данное тѣло кладутъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ [1]),

---

[1]) Въ хорошихъ вѣсахъ имѣется особый механизмъ, называемый *арретиромъ*, при помощи котораго коромысло и чашки немного приподнимаются и закрѣпляются; это дѣлается для того, чтобы ножи, которыми коромысло и чашки

напр. на правую, и нѣсколько разновѣсокъ на лѣвую; опускаютъ аретиръ и смотрятъ какая чашка перетягиваетъ: если правая, то поднимаютъ аретиръ и на лѣвую прибавляютъ грузъ, если же лѣвая, то снимаютъ нѣкоторыя разновѣски; такое испытаніе продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока вѣсы, будучи освобождены, не сохраняютъ своего равновѣсія; тогда масса M даннаго тѣла равна массѣ разновѣсокъ. Если извѣстенъ еще объемъ V даннаго тѣла (задача 12), то плотность его вычисляютъ по формулѣ:

$$d = \frac{M}{V}.$$

16) *Градуировать дѣленія мензурки.*

Приборы. Мензурка (цилиндрическій сосудъ съ дѣленіями), вѣсы и разновѣски.

Опытъ. На чашку вѣсовъ ставятъ пустую мензурку и уравновѣшиваютъ ее разновѣсками (или дробью), положенными на другую чашку. Снявъ съ вѣсовъ мензурку, наполняютъ ее водою до 10-го дѣленія, опять ставятъ ее на ту же чашку вѣсовъ, и вновь уравновѣшиваютъ разновѣсками, которые кладутъ на другую чашку. Опредѣливъ такимъ образомъ массу воды, занимающей 10 дѣленій мензурки, знаемъ ихъ емкость (ибо каждый граммъ воды имѣетъ объемъ одного кубическаго центиметра). Такимъ же образомъ опредѣляются емкости 20, 30, 40 и т. д. дѣленій и затѣмъ разцѣниваютъ или, какъ говорятъ, градуируютъ дѣленія мензурки.

17) *При помощи мензурки опредѣлить плотность раствора мѣднаго купороса.*

Приборы. Вѣсы, разновѣски и градуированная мензурка; растворъ мѣднаго купороса.

Опытъ. Взвѣшиваютъ пустую мензурку; затѣмъ въ мензурку наливаютъ раствора мѣднаго купороса и опять ее взвѣшиваютъ; изъ такихъ двухъ взвѣшиваній опредѣляютъ массу m раствора. По числу дѣленій мензурки, занятыхъ растворомъ, опредѣляютъ его объемъ V. Послѣ этого вычисляютъ плотность раствора: $d = m/V$.

18) *Провѣрить показанія пружинныхъ вѣсовъ.*

опираются на подставки, не портились (особенно при накладываніи взвѣшиваемаго тѣла и уравновѣшивающихъ гирекъ); при накладываніи или сниманіи тѣла и гирекъ вѣсы предварительно аретируются.

Приборы. Пружинные вѣсы и наборъ разновѣсокъ.

Опытъ. Кладя послѣдовательно на чашку вѣсовъ различныя разновѣски, отмѣчаютъ соотвѣтствующія показанія указателя вѣсовъ; отсюда же вычисляютъ соотвѣтствующія поправки. Для избѣжанія параллакса при отсчитываніи, глазъ слѣдуетъ помѣщать прямо противъ указателя.

19) *Опредѣлить чувствительность вѣсовъ Жолли и провѣрить на нихъ законъ Гука.*

Приборы. Вѣсы Жолли и наборъ разновѣсокъ.

Вѣсы Жолли нетрудно устроить и самому. Тонкую стальную проволоку навиваютъ на стеклянную палочку; полученную такимъ образомъ проволочную спираль укрѣпляютъ верхнимъ концомъ предъ вертикальною шкалою; на нижній конецъ спирали вѣшаютъ чашку, которую удобно сдѣлать изъ жестяной крышки отъ аптечной баночки; къ этому же концу прикрѣпляютъ указатель—горизонтальную проволочку.

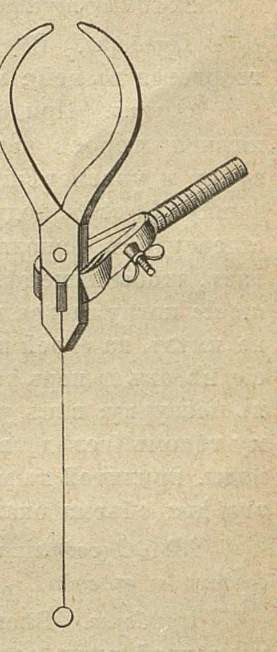
Опытъ. Установивъ шкалу параллельно проволочной спирали, опредѣляютъ положеніе указателя на шкалѣ при ненагруженныхъ вѣсахъ. Затѣмъ кладутъ на чашку послѣдовательно грузы въ 1, 2, 3 ... cgr. и опять опредѣляютъ каждый разъ положеніе указателя на шкалѣ; разности этихъ отсчетовъ съ первоначальнымъ дадутъ удлиненія пружины, вызываемыя данными грузами. Отношеніе величины удлиненія къ соотвѣтствующему грузу даетъ чувствительность вѣсовъ, а постоянство этого отношенія указываетъ на справедливость закона Гука, по которому удлиненіе тѣла пропорціонально растяженію.

20) *Провѣрить законы колебаній простого маятника.*

Приборы. Штативъ; плоскогубцы; два снабженныхъ крючками шарика одинаковаго діаметра, но разныхъ массъ; нить; линейка съ дѣленіями; часы.

Опытъ. Простой маятникъ устраиваютъ такъ: на концѣ нити дѣлаютъ петлю, за которую крючкомъ зацѣпляютъ одинъ изъ шариковъ; на нѣкоторомъ разстояніи отъ этого конца нить ущемляютъ плоскогубцами, которые и зажимаютъ въ штативѣ (фиг. 9). Длиною такого маятника будетъ разстояніе центра тяжести шарика отъ нижняго конца плоскогубцовъ (оно равно измѣряемому линейкою разстоянію плоскогубцовъ отъ верхняго конца шара, увеличенному на радіусъ шара, опредѣляемый какъ указано въ задачѣ 8).

Устроивъ маятникъ и заставивъ его колебаться, опредѣляютъ по часамъ продолжительность 50 или 100 его колебаній, откуда вычисляютъ время одного колебанія, T. Опредѣляютъ: 1) время колебанія одного и того же маятника при различныхъ размахахъ (уголъ отклоненія опредѣляютъ приблизительно); 2) время качаній маятника одной длины но съ различными шариками; 3) времена колебаній маятника различной длины, которую измѣняютъ, зажимая (плоскогубцами) нить въ разныхъ мѣстахъ.



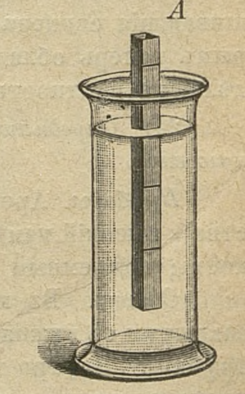
фиг. 9.

Если для длинъ l_1, l_2, ... найдемъ времена качаній T_1, T_2, ..., то окажется, что $\sqrt{l_1}/T_1 = \sqrt{l_2}/T_2 = \cdots$ постоянно.

21) *Опредѣлить давленіе внутри жидкости.*

Приборы. Латунная трубка, закрытая съ одного конца плоскимъ дномъ; на боковой поверхности трубки сдѣланы мѣтки; стекляный сосудъ достаточной глубины и ширины; запасъ дроби; вѣсы и разновѣски; раздѣленная линейка; различныя жидкости.

Опытъ. Въ сосудъ наливаютъ воды, въ которую погружаютъ трубку A (фиг. 10), и насыпаютъ въ послѣднюю столько дроби, чтобы она плавала вертикально, погружаясь до одной изъ мѣтокъ. Вынувъ сосудъ изъ воды и тщательно обтеревъ его пропускною бумагою, взвѣшиваютъ ее вмѣстѣ съ дробью. Частное отъ дѣленія этого вѣса на площадь дна трубки даетъ давленіе жидкости на глубинѣ этого дна (глубина опредѣляется разстояніемъ мѣтки отъ дна трубки).



фиг. 10.

Повторить опытъ съ водою, погружая трубку до различныхъ мѣтокъ (вывести заключеніе, что давленіе жидкости возрастаетъ пропорціонально глубинѣ) и съ разными жидкостями при погруженіи трубки до одной и той же мѣтки (вы-

вести заключеніе, что при остальныхъ равныхъ условіяхъ давленіе жидкости пропорціонально ея плотности).

22) *Провѣрить законъ Архимеда.*

Приборы. Вѣсы; тѣло, которое тонетъ въ водѣ (но не растворяется въ ней); мензурка; большой сосудъ съ водою.

Опытъ. При помощи тонкой нити подвѣшиваютъ тѣло къ нижней сторонѣ чашки вѣсовъ; ставятъ на эту же чашку мензурку и уравновѣшиваютъ вѣсы тарою, положенною на другую чашку. Затѣмъ подъ висящее тѣло ставятъ подъемный столикъ съ сосудомъ, наполненнымъ водою, и столикъ этотъ поднимаютъ такъ, чтобы наше тѣло погрузилось въ воду (при этомъ тѣло должно *все* погружаться въ воду, нигдѣ не касаться стѣнокъ сосуда и не имѣть на своей поверхности пузырьковъ воздуха). Равновѣсіе вѣсовъ теперь нарушено; его возстановляютъ, приливая воду въ мензурку; вѣсъ этой воды, понятно, равенъ вѣсу, потерянному тѣломъ (вслѣдствіе погруженія его въ воду). Измѣримъ объемъ воды, прилитой въ мензурку, а также объемъ испытуемаго тѣла; эти два объема оказываются равными.

23) *Опредѣлить плотность твердаго тѣла взвѣшиваніемъ въ воздухѣ и въ водѣ.*

Приборы. Вѣсы; разновѣски; кусокъ свинца, привязанный къ тонкой нити; сосудъ съ водою.

Опытъ. Опредѣливъ вѣсъ свинца (p), подвѣшиваютъ его на нити къ одной изъ чашекъ вѣсовъ и погружаютъ въ воду; разновѣски, положенныя на другую чашку вѣсовъ и уравновѣшивающія свинецъ, погруженный въ воду, даютъ вѣсъ p', которымъ теперь обладаетъ нашъ кусокъ свинца; послѣ этого опредѣляютъ плотность свинца по формулѣ $d = p/(p-p')$.

24) *Опредѣлить плотность жидкости ареометромъ постояннаго вѣса.*

Приборы. Ареометры постояннаго вѣса (простѣйшаго устройства); высокій измѣрительный цилиндръ; вода и испытуемая жидкость; подъемный столикъ.

Опытъ. Въ качествѣ ареометра берутъ стеклянную трубку закрытую съ нижняго конца пробкою (всаженною до самыхъ краевъ трубки). Внутрь трубки вкладываютъ бумажную шкалу съ равноотстоящими другъ отъ друга дѣленіями, начало которыхъ должно помѣщаться у самаго конца трубки. Въ трубку насыпаютъ столько дроби, чтобы трубка, будучи погружена въ жидкость,

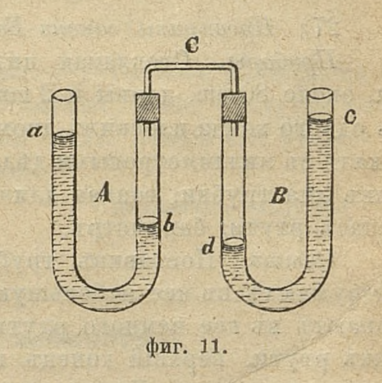
плавала вертикально; затѣмъ градуируютъ трубку, разцѣнивая объемы ея между дѣленіями шкалы. Для этого закрѣпивъ вертикально нашу трубку въ штативѣ, помѣщаютъ подъ нее на подъемномъ столикѣ мензурку съ водою и постепенно поднимаютъ столикъ такъ, чтобы наша трубка погружалась въ воду до 1-го, 2-го, ... дѣленія своей шкалы; при этомъ каждый разъ замѣчаютъ дѣленіе мензурки, до котораго стоитъ въ ней вода. Послѣ этого нашъ ареометръ готовъ.

Опустимъ нашъ ареометръ въ воду и предоставимъ его свободно плавать; пусть при этомъ онъ вытѣсняетъ объемъ V воды; пусть при погруженіи въ другую жидкость нашъ ареометръ вытѣсняетъ объемъ V'. Такъ какъ жидкость, вытѣсненная плавающимъ ареометромъ, вѣситъ всегда столько же, сколько вѣситъ самъ ареометръ, то число куб. центиметровъ вытѣсненной воды (V) равно числу граммовъ массы ареометра или вытѣсненной жидкости и потому плотность послѣдней опредѣлится по формулѣ $d = V/V'$.

25) *Сравнить плотности двухъ жидкостей.*

Приборы. Двѣ U-образныя трубки, узенькая П-образная трубочка; каучуки, пробки, жидкости.

Опытъ. Въ U-образныя трубки A и B (фиг. 11) наливаютъ въ одну воды, въ другую испытуемой жидкости такъ, чтобы каждая изъ нихъ входила въ оба колѣна; затѣмъ эти трубки соединяются трубочкою C при помощи плотно входящихъ пробокъ; наконецъ чрезъ открытые концы трубокъ A и B прибавляютъ еще соотвѣтствующихъ жидкостей. Положимъ, что при этомъ уровни расположены такъ, какъ показано на чертежѣ; тогда давленія столбовъ ab и cd жидкостей уравновѣшиваются упругостью воздуха между жидкостями. Если чрезъ h_0 и h назовемъ высоты столбовъ ab и cd, чрезъ d_0 и d плотности нашихъ жидкостей, то давленія этихъ столбовъ будутъ $h_0 d_0 g$ и hdg. По предыдущему $h_0 d_0 g = hdg$ и



фиг. 11.

$$d = d_0 \frac{h_0}{h};$$

но плотность воды $d_0 = 1$ и потому

$$d = \frac{h_0}{h}.$$

26) *Опредѣлить давленіе атмосферы.*

Приборы. Ртутный барометръ.

Опытъ. Барометръ устанавливаютъ вертикально; нижній уровень ртути въ барометрѣ приводятъ къ соотвѣтствующему указателю (отъ котораго идетъ счетъ дѣленій линейки). Нуль ноніуса барометра ставятъ противъ верхняго уровня ртути, и отсчитываютъ высоту h этого уровня по линейкѣ и по ноніусу. Эту высоту приводятъ къ 0° по формулѣ

$$h_0 = h(1+\beta t)/(1+\alpha t),$$

гдѣ t—температура барометра (опредѣляемая по придѣланному къ нему термометру), β—термическій коэффиціентъ длины линейки, α—термическій коэффиціентъ объема ртути. Если мы желаемъ выразить давленіе атмосферы въ вѣсовыхъ единицахъ на каждый квадратный центиметръ, то найденную высоту h_0 нужно помножить на плотность ртути (13·59) и на напряженіе силы тяжести (981 въ нашихъ широтахъ); такимъ образомъ давленіе будетъ опредѣляться формулою:

$$p = h_0 13{\cdot}59.981.$$

27) *Провѣрить законъ Бойля-Маріотта.*

Приборы. Стеклянная цилиндрическая толстостѣнная трубка, около 80 cm. длины и 2 mm. внутренняго діаметра, закрытая съ одного конца плоскимъ дномъ и прикрѣпленная къ деревянной шкалѣ съ миллиметровыми дѣленіями, нуль которыхъ лежитъ противъ дна трубки; тонкая длинная желѣзная проволока; пипетка; запасъ ртути; барометръ.

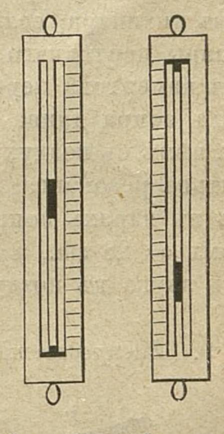
Опытъ. Поставивъ трубку отверстіемъ вверхъ (фиг. 12), погружаютъ въ нее небольшую часть проволоки и пипеткою наливаютъ въ нее немного ртути; внутри трубки образуется столбикъ ртути, верхній конецъ которой останавливается противъ конца проволоки. Если хотимъ опустить ртуть ниже, стоитъ только продвинуть проволоку. Опустимъ столбикъ ртути до середины трубки и затѣмъ повѣсимъ приборъ на стѣну такъ, чтобы трубка была вертикальна. Отсчитываютъ дѣленіе (n_1), противъ котораго стоитъ нижній конецъ ртути и длину (l_1) ртутнаго столбика; тогда объемъ запертаго въ трубкѣ воздуха будетъ sn_1,

гдѣ s—площадь поперечнаго сѣченія трубки, давленіе же, подъ которымъ онъ находится, равно $h+l_1$, гдѣ h—высота барометрическаго столба ртути въ данный моментъ.

Затѣмъ перевертываютъ трубку открытымъ концомъ внизъ (фиг. 13) и, укрѣпивъ ее опять вертикально, отсчитываютъ дѣленіе n_1', противъ котораго стоитъ верхній конецъ ртутнаго столбика. Теперь объемъ того же воздуха $= sn_1'$, а давленіе на него $h-l$. Опытъ показываетъ, что произведеніе объема нашего воздуха на его упругость постоянно:

$$n_1 (h+l_1) = n_1' (h-l_1) = C;$$

въ этомъ и состоитъ законъ Бойля-Маріотта.



фиг. 12. фиг. 13.

Сдѣлавъ одинъ опытъ, подливаютъ въ трубку немного ртути, отчего длина ртутнаго столбика дѣлается l_2 и воздухъ въ трубкѣ будетъ одинъ разъ находиться подъ давленіемъ $h+l_2$, а другой разъ подъ давленіемъ $h-l_2$; если при этомъ воздухъ въ нашей трубкѣ сперва занимаетъ емкость n_2 дѣленій, а затѣмъ n_2', то

$$n_2 (h+l_2) = n_2' (h-l_2) = C.$$

Для избѣжанія параллакса при отсчитываніи дѣленія, на которомъ стоитъ конецъ ртутнаго столбика, глазъ слѣдуетъ помѣщать прямо противъ этого дѣленія такъ, чтобы это дѣленіе не искажалось толстостѣнною трубкою.

(Продолженіе слѣдуетъ).

Физическій кабинетъ.

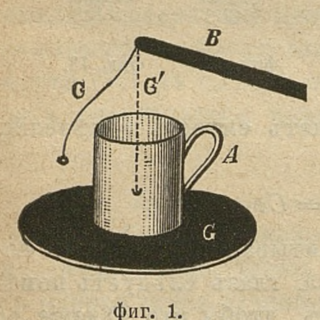
8. *Скорость звука въ различныхъ средахъ.* Къ данному камертону подберемъ двѣ пробирки (длиною въ четверть волны, издаваемой камертономъ), которыя бы усиливали его звукъ; если одну изъ пробирокъ нагрѣть, то она перестанетъ усиливать звукъ этого камертона. Слѣд. съ нагрѣваніемъ воздуха длина звуковой волны (соотвѣтствующая данной высотѣ звука) измѣняется; но

длина звуковой волны (λ) пропорціональна скорости звука (v)— а именно $v = \lambda N$, гдѣ N высота звука, а потому заключаемъ, что съ нагрѣваніемъ воздуха скорость звука въ немъ измѣняется.

Ламповый стеклянный цилиндръ погружаютъ въ глубокій стаканъ съ водою до тѣхъ поръ, пока цилиндръ не станетъ сильно резонировать камертону, который держатъ надъ верхнимъ отверстіемъ цилиндра; если теперь въ цилиндръ налить немного эфира, то пары послѣдняго вытяснятъ оттуда воздухъ, и послѣ этого звукъ камертона перестанетъ усиливаться цилиндромъ; слѣд. въ парахъ эфира длина звуковой волны, а слѣд. и скорость звука иная, чѣмъ въ воздухѣ. Опуская цилиндръ въ воду, можно опять добиться резонанса; слѣд. звуковая волна въ воздухѣ длиннѣе, чѣмъ въ парахъ эфира (длина резонирующаго цилиндра съ воздухомъ = 28 cm., а съ парами эфира = 24 cm.), а потому скорость звука въ воздухѣ больше, чѣмъ въ этихъ парахъ.

(Спб., *В. Л. Розенбергъ*).

9. *Распредѣленіе электричества на поверхности проводника.* Жестяную кружку A (фиг. 1) ставятъ на эбонитовый дискъ G (отъ электрофора) и заряжаютъ электричествомъ; затѣмъ въ кружку опускаютъ бузиновый шарикъ, подвѣшенный на шелковинкѣ C'; послѣдняя остается отвѣсною и шарикъ не отталкивается отъ внутреннихъ стѣнокъ кружки; но если шарикъ вынуть изъ кружки и привести въ соприкосновеніе съ ея наружною поверхностью, то шелковинка будетъ искривляться (C) и шарикъ будетъ отталкиваться отъ кружки.



фиг. 1.

(Варшава, *С. Е. Троцевичъ*).

10. *Теплопроводность разныхъ металловъ.* Берутъ двѣ одинакихъ размѣровъ полосы различныхъ металловъ (напр. мѣди и желѣза); одни концы этихъ полосъ прикладываютъ къ резервуарамъ дифференціальнаго термометра, а другіе концы складываютъ вмѣстѣ и нагрѣваютъ газовою горѣлкою. Термометръ нашъ быстро обнаруживаетъ, что чрезъ мѣдную полосу теплота проводится къ термометру въ большемъ количествѣ, чѣмъ желѣзною полосою. (Болградъ, *Г. Семеновъ*).